

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Propuesta de mejora de la planta de tratamiento
de agua potable de la ciudad de Ayaviri,
Melgar, Puno - 2018**

Mary Luz Romero Giráldez

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Edwin Paucar Palomino.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a la Universidad Continental, por ser parte de mi formación profesional, así como también a todos los docentes que me brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Agradezco también a mi familia por su apoyo incondicional, por haberme proporcionado la mejor educación y lecciones de vida, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron, gracias por enseñarme que con trabajo, esfuerzo y constancia todo se consigue.

Agradezco a mi asesor, Ing. Edwin Paucar Palomino, quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en la elaboración de este trabajo, también agradecerle por sus enseñanzas en mi carrera universitaria.

Finalmente agradezco al Ing. René Alegre, quien, con su paciencia, buen humor, conocimiento y enseñanzas me ha apoyado en el desarrollo de esta tesis.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, en especial a mis padres, Bautista Romero y Julia Giráldez, quienes, con su amor incondicional, trabajo y sacrificio en todos estos años, me han permitido cumplir un sueño más, gracias por inculcarme el respeto, puntualidad y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está con nosotros siempre.

ÍNDICE

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo general	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificación e Importancia.....	17
1.3.1. Justificación	17
1.3.2. Importancia.....	18
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes de la investigación.....	19
2.1.1. Antecedentes encontrados en artículos científicos	19
2.1.2. Antecedentes encontrados en tesis	20
2.1.3. Otros documentos	28
2.2. Base legal.....	30
2.3. Bases teóricas	31

2.3.1.	Agua.....	31
2.3.2.	Importancia del Agua.....	32
2.3.3.	Contaminación del Agua.....	32
2.3.4.	Calidad de Agua.....	33
2.3.5.	Agua Potable.....	33
2.3.6.	Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP).....	35
2.3.7.	Principales Procesos en el Tratamiento de Agua Potable.....	35
2.3.8.	Planta de Filtración Rápida.....	36
2.3.9.	Procesos de PTAP – Filtración Rápida.....	40
2.4.	Definición de términos.....	113
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....		116
3.1.	Metodología aplicada para el desarrollo de la solución.....	116
CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.....		124
4.1.	Identificación de requerimientos.....	124
4.2.	Análisis de la solución.....	128
4.3.	Diseño.....	156
CAPÍTULO V CONSTRUCCIÓN.....		157
5.1.	Construcción.....	157
5.2.	Pruebas y Resultados.....	169
CONCLUSIONES.....		173
TRABAJOS FUTUROS.....		176
RECOMENDACIONES.....		177
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		178
ANEXOS.....		186

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del funcionamiento de PTAP en Japón.....	3
Figura 2. Generador de ozono (izq.). Interior del “pozo de contacto con el ozono” (der.)..	4
Figura 3. Pozos de sedimentación inclinada (arriba a la izq.). Las instalaciones en las que se recoge el agua tras la limpieza avanzada cuentan con paneles solares en el tejado (arriba a la der.). Instalaciones para aguas industriales y pozos de rápida sedimentación (abajo).....	4
Figura 4. Sedimentador de alta tasa de la Planta de Tratamiento de Agua Atzintli	5
Figura 5. Estación de Tratamiento de Agua Potable del Llobregat.....	6
Figura 6. Mapa de ubicación de la EPS en el Perú.....	7
Figura 7. Ubicación de las Empresas Prestadoras de Servicio de Saneamiento en el régimen de apoyo transitorio.....	7
Figura 8. Planta de Tratamiento de las Aguas del río Rimac.....	10
Figura 9. Planta de Tratamiento de Agua Potable N°1 - Sector Circunvalación.	12
Figura 10. Planta de Tratamiento de Agua Potable N°2 - Sector La Moya.....	14
Figura 11. Distribución del agua dulce por continentes.....	31
Figura 12. Tipo y origen de contaminación de los recursos hídricos en el Perú.	33
Figura 13. Esquema de una Planta de Tratamiento de Agua Potable.....	36
Figura 14. Delimitación y ubicación de la ciudad de Ayaviri - Puno.....	125
Figura 15. Temperatura mensual 2019 - Ayaviri	126
Figura 16. Mapa de la subcuenca Ayaviri	127
Figura 17. Precipitación acumulada del Distrito de Ayaviri 2019.....	127
Figura 18. Canal Parshall PTAP N° 1	129
Figura 19. Floculador - PTAP N° 1.....	130
Figura 20. Dosificador puntual - PTAP N° 1	131
Figura 21. Ejes de válvulas doblados al momento del cierre de compuertas	136
Figura 22. Medición de trazador en PTAP N° 1.....	145
Figura 23. Fallas de concreto.....	145
Figura 24. Pantallas del floculador	145
Figura 25. Pared del floculador	146
Figura 26. Acceso inadecuado a las unidades.....	146
Figura 27. Diseño del proceso para la propuesta de mejora de la PTAP	156
Figura 28. Plano de la propuesta de la infraestructura de la PTAP.....	158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites de calidad del agua para el tratamiento mediante filtración rápida completa.	37
Tabla 2. Límites de calidad del agua para el tratamiento mediante filtración Directa.	38
Tabla 3. Otros parámetros de calidad para el Tratamiento mediante filtración Directa.	39
Tabla 4. Tipo de dosificadores de sustancias químicas.	50
Tabla 5. Tipos de dosificadores en seco.....	51
Tabla 6. Dimensionamiento del río Ayaviri.....	126
Tabla 7. Características del almacenamiento - PTAP N° 1.....	128
Tabla 8. Características del canal Parshall - PTAP N° 1.....	129
Tabla 9. Características de la caseta de dosificación - PTAP N° 1.....	130
Tabla 10. Características del floculador - PTAP N° 1.....	131
Tabla 11. Características del canal de distribución de agua floculada - PTAP N° 1.....	132
Tabla 12- Características de la cámara de ingreso al decantador - PTAP N° 1.....	133
Tabla 13. Características del decantador - PTAP N° 1.....	133
Tabla 14. Características de baterías de filtros - PTAP N° 1.....	134
Tabla 15. Características de la caseta de desinfección - PTAP N° 1.....	136
Tabla 16. Características de almacenamiento - PTAP N° 2.....	137
Tabla 17. Características del canal de vertimiento y vertedero tipo triangular - PTAP N° 2	137
Tabla 18. Características de dosificación - PTAP N° 2.....	138
Tabla 19. Características del floculador - PTAP N° 2.....	139
Tabla 20. Características del decantador - PTAP N° 2.....	139
Tabla 21. Características del canal de ingreso y lavado de baterías de filtros - PTAP N° 2	140
Tabla 22. Características de batería de filtros - PTAP N° 2.....	141
Tabla 23. Características de la caseta de desinfección - PTAP N° 2.....	142
Tabla 24. Datos de prueba de trazadores de PTAP N° 1 y PTAP N° 2.....	143
Tabla 25. Aplicación del coagulante a la PTAP N° 1 y PTAP N° 2.....	147
Tabla 26. Limpieza del floculador PTAP N° 1 y PTAP N° 2.....	148
Tabla 27. Limpieza del decantador PTAP N° 1 y PTAP N° 2.....	148
Tabla 28. Operación y mantenimiento de los filtros PTAP N° 1 y PTAP N° 2.....	149
Tabla 29. Proceso de desinfección PTAP N° 1 y PTAP N° 2.....	150
Tabla 30. Aforo de caudales PTAP N° 1.....	151

Tabla 31. Aforo de caudales PTAP N° 2A.....	151
Tabla 32. Aforo de caudales PTAP N° 2B.....	152
Tabla 33. Aforo de caudales de la PTAP N° 2	152
Tabla 34. Determinación de gradiente de velocidad y tiempo de retención de la propuesta.	162
Tabla 35. Datos de muestra de agua cruda usando policloruro de aluminio - La Moya..	170
Tabla 36. Datos generales de la muestra de Punku Punku con policloruro de aluminio.	170
Tabla 37. Datos generales de la muestra La Moya usando sulfato de aluminio Tipo A..	171
Tabla 38. Datos generales de la muestra de Punku Punku usando sulfato de aluminio Tipo A.....	171

RESUMEN

Objetivo: Proponer la alternativa de mejora de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Ayaviri, Melgar, Puno - 2018. **Propuesta:** Para la determinación de la alternativa de mejora de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Ayaviri se realizó un diagnóstico de la planta, en la que se evaluó el estado actual de los procesos o unidades que lo conforman, se comprobó que a las plantas de tratamiento ingresa un total de caudal de 68 L/s, lo cual es superior a la capacidad de dichas plantas, ya que debe ingresar solo un caudal de 58.85 L/s, por ende cada unidad no trabaja eficientemente, asimismo, las infraestructuras se encuentran deterioradas y no se tiene un adecuado manejo en cuanto a los insumos químicos (coagulante), todo ello genera un inadecuado tratamiento del agua cruda. Es por ello, que se desarrollaron los dimensionamientos adecuados de cada unidad o proceso de la planta; teniendo en consideración un caudal de 82.05 L/s se diseñaron las siguientes unidades: almacenamiento, dosificador, mezcla del coagulante, floculación de flujo vertical, decantación, filtración, desinfección y un sistema de emergencia de cloración de hipoclorito de calcio, lo cual garantizará posteriormente el tratamiento de agua para consumo humano. Finalmente se realizó el análisis de la viabilidad de la propuesta planteada, obteniendo un valor de la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 20.78 % y un Valor Actual Neto (VAN) positivo, dichos resultados indican la viabilidad de la propuesta.

Conclusión: Para la mejora de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Ayaviri, Melgar, Puno - 2018 se requiere: a) contar con un tanque de regulación de caudal, para asegurar el abastecimiento permanente a la planta, dicha unidad no existe en la planta actual; b) contar con un pre - sedimentador, ayudando a reducir la turbiedad del agua cruda, ya que actualmente no se cuenta con esta unidad; c) la unidad de dosificación debe llevar un mezclador mecánico para mejorar la disolución del coagulante, así también contar con un dosificador de solución por gravedad de orificios de carga constante; d) para la mezcla de coagulante, la mezcla rápida constituirá a un canal rectangular con cambio de pendiente, generando posteriormente el resalto hidráulico, lo cual no se realiza en la planta actual, mejorando la mezcla del coagulante, esta área tendrá un ancho de 0.90 m, 1.35 m de longitud y 2.16 min como tiempo de mezcla, también habrá un difusor con 17 orificios para mejorar la dispersión del coagulante; e) en la unidad de floculación, el flujo será vertical y tendrá una longitud de 8.40 m y 3.60 m de profundidad, las pantallas serán de madera, lo cual permitirá removerlas para realizar su posterior mantenimiento, mientras que en la planta actual las pantallas son de concreto y ello dificulta al operario realizar el mantenimiento adecuado; f) la decantación estará constituida por 03 compartimientos

similares, cada uno de ellos tendrá 02 módulos de placas paralelas y 01 canal central, para obtener una distribución uniforme de agua floculada los orificios será de 4" de diámetro con un total de 25 orificios, se obtendrá una gradiente de 12.95 s^{-1} ; g) la filtración rápida tendrá 04 filtros, cada filtro tendrá un área de 6.12 m^2 con 26 orificios, la altura del material filtrante será de 0.80 m; y h) la desinfección contará con sistema de cloración, considerando como tiempo de almacenamiento a 60 días, así también contará con un sistema de emergencia para cloración de hipoclorito de calcio, por un tiempo de almacenamiento de 190 días.

Palabras clave: Planta de Tratamiento de Agua Potable, prueba de jarras, diseño de planta de tratamiento de agua potable.

ABSTRACT

Objective: Propose the alternative to improve the Drinking Water Treatment Plant of the city of Ayaviri, Melgar, Puno - 2018. **Proposal:** To determine the alternative to improve the Ayaviri Drinking Water Treatment Plant, a diagnosis of the plant was made, in which the current state of the processes or units that comprise it was evaluated, it was verified that the plants treatment enters a total flow of 68 L/s, which is higher than the capacity of these plants, since only a flow of 58.85 L/s must enter, therefore each unit does not work efficiently, also, the infrastructures are deteriorated and there is no adequate management of chemical inputs (coagulant), all this generates an inadequate treatment of raw water. It is for this reason that the appropriate sizing of each unit or plant process was developed; taking into consideration a flow rate of 82.05 L/s, the following units were designed: storage, dispenser, coagulant mixture, vertical flow flocculation, decantation, filtration, disinfection and an emergency calcium hypochlorite chlorination system, which will subsequently guarantee the treatment of water for human consumption. Finally, the analysis of the viability of the proposed proposal was carried out, obtaining a value of the Internal Rate of Return (IRR) of 20.78 % and a positive Net Present Value (NPV), these results indicate the viability of the proposal. **Conclusion:** For the improvement of the Drinking Water Treatment Plant in the city of Ayaviri, Melgar, Puno - 2018, it is required: a) to have a flow regulation tank, to ensure permanent supply to the plant, said this unit does not exist in the current plant; b) have a pre - settler, helping to reduce the turbidity of the raw water; since this units is not currently available; c) the dosing unit must have a mechanical mixer to improve the dissolution of the coagulant, also have a gravity solution dispenser with constant load orifices; d) for the coagulant mixture, the rapid mixing will constitute a rectangular channel with slope change, subsequently generating the hydraulic jump, which is not done in the current plant, improving the coagulant mixture, this area will have a width of 0.90 m, 1.35 m long and 2.16 min as mixing time, there will also be a diffuser with 17 holes to improve the dispersion of the coagulant; e) in the flocculation unit, the flow will be vertical and will have a length of 8.40 m and 3.60 m depth, the screens will be made of wood, which will allow them to be removed for subsequent maintenance, while in the current plant the screens are of concrete, and this makes it difficult for the operator to perform proper maintenance; f) the decantation will be made up of 03 similar compartments, each of them will have 02 modules of parallel plates and 01 central channel, to obtain a uniform distribution of flocculated water, the holes will be 4" in diameter with a total of 25 holes, a gradient of 12.95 s^{-1} will be obtained; g) the rapid filtration will have 04 filters, each filter will have an area of 6.12 m^2

with 26 holes, the height of the filter material will be 0.80 m; h) the disinfection will have a chlorination system, considering a storage time of 60 days, as well as an emergency system for chlorination of calcium hypochlorite, for a storage time of 190 days.

Keywords: Drinking Water Treatment Plant, jar test, drinking water treatment plant design.

INTRODUCCIÓN

El agua es muy importante para el desarrollo del país, asimismo es importante la calidad de agua que se brinda a una población, ya que consumir agua contaminada puede transmitir enfermedades gastrointestinales y a su vez provocar la muerte. Hoy en día existen diferentes Plantas de Tratamiento de Agua de Agua Potable (en adelante PTAP), quienes son responsables de brindar el agua en óptimas condiciones, pero existen PTAP que ya no funcionan adecuadamente, ya sea porque cumplió su periodo de diseño, el caudal de ingreso incrementó debido a la demanda poblacional, no se realiza una adecuada dosificación, se observa el deterioro de las estructuras de las unidades o procesos, se da un inadecuado manejo de insumos químicos, así como la falta de mantenimiento o el desconocimiento de la operación por parte del personal a cargo. Tomando en cuenta lo mencionado, se consideró realizar el estudio de la situación actual en la que se encuentra la PTAP de Ayaviri, de modo que se alcance conocer las falencias que existen en la PTAP para posteriormente proponer el mejoramiento de la Planta de Tratamiento del Agua Potable y con ello brindar una mejor calidad de agua a la población de Ayaviri.

En el primer capítulo de la presente investigación se plantea como objetivo general: proponer la alternativa de mejora de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Ayaviri, Melgar, Puno - 2018, formulada tras los problemas de la población en cuanto a los servicios de agua potable; también se plantea los problemas y objetivos específicos relacionados al estudio tecnológico: propuesta de mejora de la PTAP, siguiendo la normativa vigente y el manual de CEPIS/OPS.

En el segundo capítulo se muestran los antecedentes de la investigación tanto internacionales como nacionales, las bases teóricas de la investigación las cuales sustentan la propuesta del diseño de la planta de tratamiento de agua potable y la definición de términos.

En el tercer capítulo se sustenta la metodología aplicada en el desarrollo de la solución, asimismo se indican los instrumentos y técnicas de recolección de datos.

En el cuarto capítulo se muestra el análisis y diseño de solución, en la cual se indica el estado situacional, la operación y mantenimiento, las evaluaciones hidráulicas y caudales de la PTAP de Ayaviri, las cuales servirán para definir la propuesta del diseño.

En el quinto capítulo se detalla la propuesta de construcción del diseño de la planta de tratamiento de agua potable, en relación a la consideración del enfoque tecnológico, finalmente llegando a la conclusión que para la mejora de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Ayaviri, Melgar, Puno - 2018 se requiere: a) contar con un tanque de regulación de caudal, para asegurar el abastecimiento permanente a la planta, dicha unidad no existe en la planta actual; b) contar con un pre - sedimentador, ayudando a reducir la turbiedad del agua cruda, ya que actualmente no se cuenta con esta unidad; c) la unidad de dosificación debe llevar un mezclador mecánico para mejorar la disolución del coagulante, así también contar con un dosificador de solución por gravedad de orificios de carga constante; d) en la mezcla del coagulante, la mezcla rápida deberá considerar a un canal rectangular con cambio de pendiente, generando posteriormente el resalto hidráulico, lo cual no se realiza en la planta actual, mejorando la mezcla del coagulante; ésta área tendrá un ancho de 0.90 m, 1.35 m de longitud y 2.16 min como tiempo de mezcla, también habrá un difusor con 17 orificios para mejorar la dispersión del coagulante; e) en la unidad de floculación, el flujo deberá ser vertical y deberá tener una longitud de 8.40 m, y 3.60 m de profundidad, las pantallas serán de madera, lo cual permitirá removerlas para realizar su posterior mantenimiento, mientras que en la planta actual las pantallas son de concreto, y ello dificulta al operario realizar el mantenimiento adecuado; f) la decantación estará constituida por 03 compartimientos similares y cada uno de ellos tendrá 02 módulos de placas paralelas y 01 canal central, para obtener una distribución uniforme de agua floculada los orificios serán de 4" de diámetro con un total de 25 orificios, obteniendo así una gradiente de 12.95 s^{-1} ; g) la filtración rápida considerará 04 filtros, cada filtro tendrá un área de 6.12 m^2 con 26 orificios, la altura del material filtrante será de 0.80 m; h) la desinfección contará con sistema de cloración, considerando el tiempo de almacenamiento de 60 días, así también contará con un sistema de emergencia para cloración de hipoclorito de calcio, el cual tendrá un tiempo de almacenamiento por 190 días.

La autora.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Antiguamente los Romanos purificaban el agua utilizando el sistema de tratamiento por aireación, manejaban acueductos para el transporte del agua, protegiendo de esta manera el agua de los contaminantes externos. Así mismo, consideraban que el agua proveniente de las montañas como la de mejor calidad. Jhon Gibb en el año 1804, construyó el primer sistema de suministro de agua potable en Paisley, Escocia; en 1806 en París funcionó la mayor planta de tratamiento de agua, en la cual, el agua era sedimentada durante 12 horas antes de su filtración, dicho filtrado consideraba arena, carbón y un tiempo de tratamiento de 06 horas (1).

Debido al incremento de enfermedades causadas por el consumo de agua, James Simpson en 1827, construyó un filtro de arena para la purificación del agua potable, el cual hasta la fecha es utilizado y es considerado como el primer sistema efectivo con fines de salud pública (2).

En Londres, en el año 1854, se generó una epidemia de cólera, debido al consumo de agua contaminada (3), ya que la población vertía sus aguas residuales directamente a las fuentes de agua, debido a ello, el agua contenía microorganismos, por lo que, la utilización de filtros de arena para la purificación del agua ya no era suficiente, es por ello que el agua ya no

era apta para consumo humano. Posteriormente se empezó a investigar acerca de los desinfectantes y/o tratamiento del agua para mejorar su calidad, y a su vez, mejorar la calidad de vida de las personas o pobladores.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la mitad del mundo en desarrollo carecen de una letrina sencilla “mejorada” y no cuenta con acceso a agua para consumo humano (4). Debido a ello, es que hasta la fecha continúan falleciendo personas con enfermedades intestinales, ocasionadas a la mala calidad de agua y la falta de higiene.

Por esta razón, el agua está presente en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), ya que la crisis de la misma y del saneamiento son situaciones que se debe abordar de manera internacional (5). Para lo cual, es importante la participación de nuevos actores del desarrollo, como el sector privado, la sociedad civil, entre otros. Los Objetivos del Desarrollo Sostenible incluyen: el fin de la pobreza, hambre cero, la salud y el bienestar, la educación de calidad, la igualdad de género, el agua limpia y saneamiento, la energía asequible y no contaminante, el trabajo decente y crecimiento económico, la industria, innovación e infraestructura, la reducción de las desigualdades, las ciudades y comunidades sostenibles, la producción y consumo responsables, la acción por el clima, la vida submarina, la vida e ecosistemas terrestres, la paz, justicia e instituciones sólidas y las alianzas (6).

En el año 2 000, 189 países que conforman los Estados Miembros de las Naciones Unidas, se comprometieron a cumplir con ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), la cual debió ser alcanzada para el año 2015, dichos objetivos son (7): “erradicar la pobreza extrema y el hambre, lograra la enseñanza primaria universal, promover la igualdad entre los géneros y la autonomía de la mujer, reducir la mortalidad infantil, mejorar la salud materna, combatir con el VIH, y otras enfermedades, garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y fomentar una asociación mundial para el desarrollo”.

La UNESCO, en el año 2 006, informó que el 54 % de la población mundial disponía de una conexión entubada a su vivienda, terreno o jardín, y un

33 % utilizaba otras fuentes mejoradas para su consumo. El 13 % restante dependían de fuentes no mejoradas, lo cual indicaría que aproximadamente 2 400 millones de personas continúan sin acceso a un saneamiento básico hasta el 2 015, por lo que no se logró uno de los objetivos mencionados anteriormente (8).

Cabe indicar que, en Japón, cuentan con una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Misono, la cual realiza una limpieza avanzada, utilizando un tratamiento con ozono (fuerte oxidante) y un proceso de absorción por carbón activado, eliminando de esta manera la materia orgánica de tamaño microscópico, ya que con los métodos convencionales no es posible eliminarlas. Dicha PTAP tiene una capacidad de 300 000 m³ de agua por día, y cuenta con 12 pozos de absorción, cada una de ellas con una capa de 2.5 m. de carbón activado capaz de absorber las impurezas disueltas por el ozono y descomponer las impurezas más diminutas que puedan quedar en el agua gracias a los microorganismos que proliferan en los carbones activados. En cuanto a los pozos de sedimentación, estas son inclinadas, lo cual mejora la sedimentación de la turbiedad del agua (9).

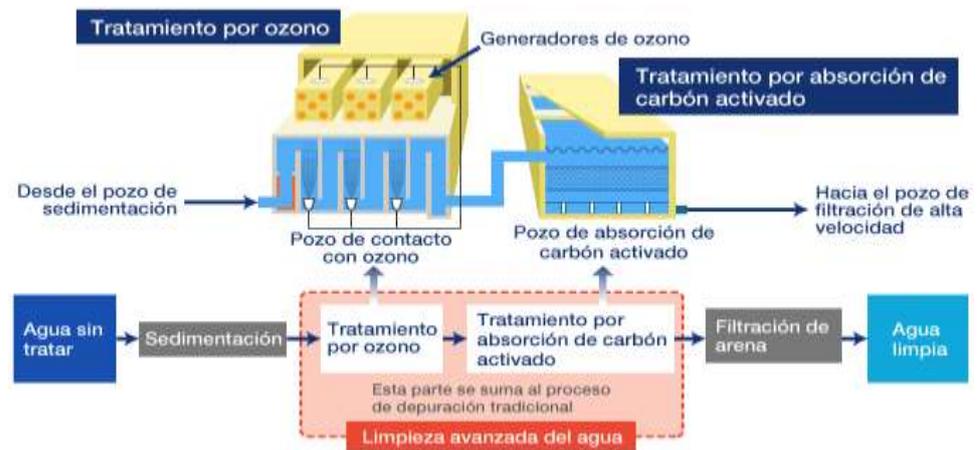


Figura 1. Diagrama del funcionamiento de PTAP en Japón.

Fuente: Agua corriente de Japón (9).



Figura 2. Generador de ozono (izq.). Interior del “pozo de contacto con el ozono” (der.).

Fuente: Agua Corriente de Japón (9).



Figura 3. Pozos de sedimentación inclinada (arriba a la izq.). Las instalaciones en las que se recoge el agua tras la limpieza avanzada cuentan con paneles solares en el tejado (arriba a la der.). Instalaciones para aguas industriales y pozos de rápida sedimentación (abajo).

Fuente: Agua Corriente de Japón (9).

La Planta de Tratamiento de Agua Potable de Atzintli - México, es considerada única en el mundo, ya que es capaz de captar dióxido de carbono (CO_2) y cuenta con un sistema de ozonificación, la cual garantiza la eliminación de agentes patógenos en el agua; es por ello que se puede realizar el riego en productos destinados al consumo humano, como las hortalizas, ya que esta tecnología elimina la proliferación de mosquitos en el agua residual estancado. Cabe indicar, que esta tecnología obtiene como subproducto, biomasa con alto valor comercial, lo cual serviría en la producción de bioplásticos o biocombustibles. En el tratamiento primario de aguas negras utilizan microorganismos que consumen oxígeno y liberan el dióxido de carbono como residuo, pero en la planta de Atzintli las microalgas consumen el dióxido de carbono y lo descomponen (10).



Figura 4. Sedimentador de alta tasa de la Planta de Tratamiento de Agua Atzintli

Fuente: IAGUA (10).

En el territorio catalán hay más de 250 Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP), una de ellas es la ETAP del Llobregat - España, la cual funciona desde el año 1 980, teniendo una capacidad de tratamiento de $3.20 \text{ m}^3/\text{s}$. Su proceso de tratamiento es: captación, desbaste, dosificación, desarenadores y primera elevación (el desbaste, es el primer tratamiento, que consiste en una reja que retiene materiales gruesos suspendidos en el agua, posteriormente el agua para por 03 canales de desarenador y

añaden permanganato potásico para oxidar compuestos orgánicos e inorgánicos), mezcla, floculación y decantación (en las cámaras de mezcla el agua se homogeniza con el reactivo coagulante, formando los flóculos, lo cual pasa al decantador y se purga el barro excedente), filtración sobre arena (el agua se filtra por unos lechos de arena), filtración sobre carbón activo (en este proceso la materia orgánica presente en el agua queda absorbida por el carbón activado), electrodiálisis reversible (EDR) (en este proceso se elimina un alto porcentaje de sales, lo cual mejora la percepción organoléptica del agua), almacenamiento del agua tratada, (se cuenta con dos depósitos de 213.000 m³) (11).



Figura 5. Estación de Tratamiento de Agua Potable del Llobregat.

Fuente: Agencia Catalana del Agua (11).

En el Perú, existen 50 Empresas Prestadoras de Servicio (EPS), que brindan servicio de agua potable y alcantarillado, las cuales se encuentran distribuidas geográficamente (12). En el Anexo N° 01 se muestran la lista de EPS de Saneamiento.



Figura 6. Mapa de ubicación de la EPS en el Perú.

Fuente: SUNASS (12).

De las 50 EPS de saneamiento, 13 EPS se encuentran en el Régimen de Apoyo Transitorio (RAT), es decir, se encuentran en un proceso de mejorar los sistemas de tratamiento, para contar con una mayor cantidad y mejor calidad de agua (13).

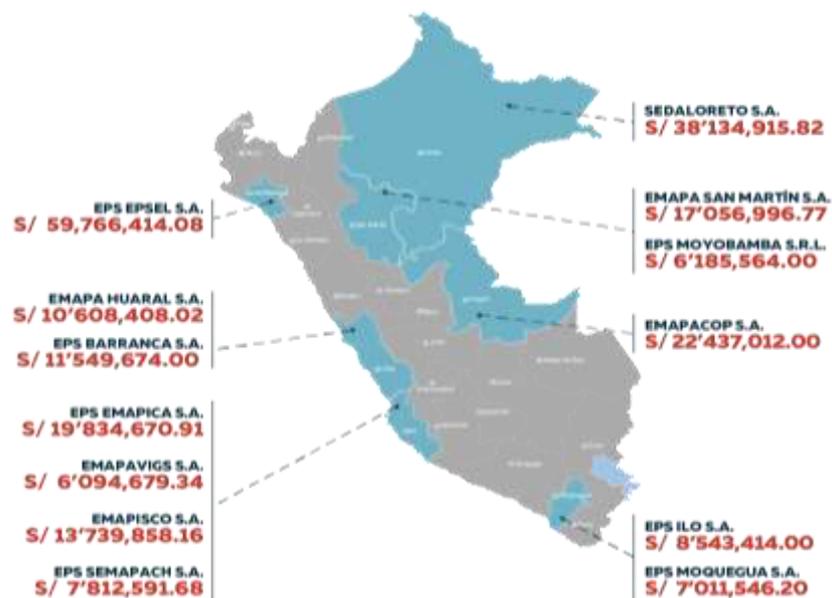


Figura 7. Ubicación de las Empresas Prestadoras de Servicio de Saneamiento en el Régimen de Apoyo Transitorio.

Fuente: OTASS (13).

Según las investigaciones realizadas en Perú por Otto Rosasco, “confirman la presencia del *Helicobacter pylori* en tanques y cisternas ubicados no necesariamente en las zonas de bajos recursos económicos o que no cuentan con el servicio de agua potable y alcantarillado” (14). Dicho microorganismo es resistente a concentraciones normales del cloro, la cual es utilizada para la desinfección del agua.

En el Perú existen en todas las regiones Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), ya sean éstas de filtración rápida o de filtración lenta, dependiendo de las condiciones para las cuales estas han sido construidas, estas PTAP son consideradas el corazón de toda obra de agua y alcantarillado integral, ya que en dichas PTAP ingresa el agua proveniente de una fuente, de tal manera que el agua ya tratada sea adecuada para consumo humano.

El tratamiento realizado en este tipo de estructuras no es el mismo debido a las condiciones de la zona que involucran su diseño, siendo entre muchas:

- Las características del agua proveniente de la fuente, dichas características del agua varían dependiendo de la época.
- El caudal necesario al que se le debe realizar el respectivo tratamiento.
- El horizonte del proyecto o los años para los cuales la PTAP trabajará a su máxima capacidad, entre otros.

En Lima - Perú, la empresa SEDAPAL brinda servicios de agua potable y alcantarillado. Cuenta con los siguientes procesos operacionales (15):

- Represamiento del río Rímac: el agua del río es derivada hacia las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Agua, pasando a través de unas rejas que retienen el material grueso o de mayor tamaño.
- Dosificación de polímeros: cuando la turbiedad es alta en época de avenida (huaicos) se agrega el polímero para aglomerar las partículas en suspensión, que permiten la sedimentación en los desarenadores y estanques reguladores originándose una remoción significativa de turbiedad.

- Desarenadores: la Planta de Tratamiento de Agua cuenta con veinticuatro pozas, repartidas en dos baterías de doce unidades, que reciben el agua captada en cantidades similares, es en estas unidades que se retiene la arena.
- Pre cloración: el agua que ingresa a los embalses reguladores se le agrega cloro, como medio desinfectante, para disminuir drásticamente la contaminación bacteriológica.
- Embalses reguladores: presentan dos unidades o embalses, que tienen la función de almacenar agua para asegurar la continuidad de la producción en la Planta de Tratamiento durante 15 horas, sin que se capte agua del río Rímac. Tienen en conjunto, un área superficial de 270 000 m² y una capacidad total de almacenamiento de 1 700 000 m³. También se realiza el proceso de sedimentación en ellos, por el periodo de retención. Además, sirve como cámara de contacto entre el cloro y el agua.
- Dosificación de coagulantes: antes del ingreso a los decantadores de manto de lodos, el agua recibe la dosificación de coagulante en forma continua. Su efecto hace que las partículas finas en suspensión que produce la turbiedad, se aglomeren formando grumos o flóculos pesados y voluminosos que son fácilmente sedimentables.
- Decantación: el agua ingresa por el fondo de los decantadores tipo pulsador de manto de lodos, siendo de flujo vertical ascendente, filtrándose el agua a través del manto de lodos, que es mantenido en suspensión por las pulsaciones intermitentes de la velocidad ascendente. Esta suspensión de manto de lodos permite retener los grumos pesados y voluminosos por contacto clarificando el agua con mayor eficiencia.
- Filtración: este proceso se lleva a cabo en pozas llamadas filtros. El agua ingresa por la parte superior a través de los filtros aquazur tipo T, siendo el flujo vertical descendente, luego atraviesa el medio filtrante que es la arena en cuyos poros se retienen las partículas más finas que pueden haber pasado los procesos anteriores. Con este proceso de filtración se termina el proceso de clarificación.
- Recirculación de agua de lavado de filtros: el proceso en mención tiene por finalidad recuperar el agua que se perdería por determinadas

operaciones de proceso de tratamiento (lavado de filtros). Mediante la recirculación de agua de lavado de filtros se recupera un promedio de 250 L/s; caudal que es muy necesario en el periodo de estiaje del río (época no lluviosa en la cuenca alta del río), con la recirculación de las aguas; las pérdidas en el proceso son mínimas (menores al 1 %):

- Cloración: en esta etapa se aplica el cloro para la eliminación de toda contaminación bacteriológica residual, pasando a las tuberías que conducen el agua a los tanques de almacenamiento y/o a la ciudad.
- Reservorios de almacenamiento: tienen como función regular la disponibilidad de agua potable, almacenándola en momentos de poco consumo y utilizando este volumen en momentos de máximo consumo, debido a que la Planta de Tratamiento está preparada para una producción constante.



Figura 8. Planta de Tratamiento de las Aguas del Río Rímac.

Fuente: SEDAPAL (15).

Pero cuando ocurre que estas Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) han cumplido con su periodo de diseño, y/o presentan fallas propias por el transcurrir de los años y/o errores durante el desarrollo de los procesos constructivos y/o poca eficiencia en la operación y mantenimiento, estas unidades de tratamiento presentarán inconvenientes en dicho tratamiento de purificación, ya sea en uno o en todos los

componentes de la PTAP, lo que perjudica directamente a toda la población que consume el agua que ha pasado por un proceso de tratamiento, ocasionando problemas de salud y malestar social.

Debido a lo mencionado en los párrafos anteriores es importante realizar un diagnóstico y evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable y de esta manera evaluar el mejoramiento para un adecuado tratamiento en la ciudad de Ayaviri.

La planta de tratamiento de agua potable de Ayaviri, está encargada por la EPS Aguas del Altiplano S.R.L. es una empresa municipal de derecho público, esta empresa surgió luego de su separación de la EPS SEDAJULIACA S.A. por decisión de la Junta Empresarial, según la Resolución N° 012-95-EPSSEDAJULIACA S.A./PJE (16).

El proceso de tratamiento de agua para consumo en la EPS Aguas del Altiplano SRL se lleva a cabo en dos zonas de tratamiento, ubicada en el Sector de Circunvalación y en el Sector La Moya; la PTAP de Ayaviri es del tipo de Filtración Rápida completa tipo CEPIS, el proceso de tratamiento está conformado por las siguientes fases operacionales:

- **PTAP N° 1 - SECTOR CIRCUNVALACIÓN:**

Está ubicada entre las calles Circunvalación y Jirón Santa Cruz aproximadamente a unos 3.50 Km de la captación, ubicado en el lado Noreste de la ciudad. Su ubicación georeferenciada es 14°52'67" S y 70°35'12" O, aproximadamente a los 3950 m.s.n.m. Es abastecido periódicamente, en época de estiaje se bombea del río Ayaviri y en época de avenida de la quebrada Punku Punku, en dicha planta se recepciona un caudal de 18 L/s. El agua del río Ayaviri es captada por intermedio de una estructura llamada Caisson con paredes que en el fondo presenta mallas para filtrar (tamices) y al ser almacenada el agua en el fondo de dicho Caisson, es bombeada directamente a la PTAP N°1. Esto se realiza sobre todo en época de estiaje o conocida también como época de sequía. Mientras que el agua de la quebrada Punku Punku es captada por intermedio de tres galerías de filtración,

las cuales se encuentran en diferentes puntos de la cuenca de la quebrada, de dichas galerías filtrantes el agua se deriva por gravedad hacia la PTAP N°1, esta se emplea cuando es época de avenida o de mayor crecida de los ríos en la zona de Ayaviri.



Figura 9. Planta de Tratamiento de Agua Potable N°1 - Sector Circunvalación.

Fuente: propia.

Cuenta con los siguientes componentes estructurales de tratamiento:

➤ CANAL TIPO PARSHALL:

Se encuentra al ingreso de la planta, sirve para medir el caudal del ingreso, cuenta con un rebose y en la contracción se instaló en un inicio el difusor la cual se trasladó al ingreso del floculador.

➤ DOSIFICACIÓN - APLICACIÓN DEL MEDIO COAGULANTE:

El proceso de dosificación se realiza mediante una bomba regulable, conectada a un depósito donde se mezcla el coagulante (policloruro de aluminio en solución acuosa), este sistema se encuentra ubicado al lado del floculador en la caseta de dosificación.

➤ FLOCULACIÓN – FORMACIÓN DE FLÓCULOS:

Este proceso se realiza mediante la estructura llamada floculador que es de flujo horizontal, este contiene tres compartimientos, cada compartimiento cuenta con un sistema de pantallas que

hace posible subdividir los tres compartimientos en pequeños canales, lo cual hace que el agua tenga un flujo tipo pistón, el recorrido uniforme y en forma horizontal, dichas pantallas son de concreto armado y tienen 1.60 m de altura aproximadamente.

➤ **DECANTACIÓN - SEDIMENTACIÓN DE FLÓCULOS Y RECOLECCIÓN DE AGUA DECANTADA:**

Se cuenta con dos decantadores del tipo laminar de flujo ascendente con un sistema de canales de doble fondo, el ingreso del agua floculada y la recolección del agua decantada se realizan en las partes laterales de cada unidad de decantación. Presenta las siguientes zonas:

- ✓ Zona de entrada y salida: canal de doble fondo que sirve para el ingreso y salida del agua decantada, ingresa mediante un canal por la parte inferior, la cual distribuye el agua alrededor del fondo mediante unos agujeros distribuidos equitativamente en casi todo el perímetro de la unidad y recolecta por rebose mediante un canal que se encuentra en la parte superior, el agua sale por el borde de las paredes de la unidad, este canal de doble fondo está instalado en casi todo el perímetro del decantador.
- ✓ Zona de decantación: en el interior de la estructura, existen evidencia de que hubo un sistema de pantallas, dichas pantallas no se encuentran instaladas, por lo cual el proceso de decantación no se realiza.
- ✓ Zona de depósito y extracción de lodos: cada una de las unidades de decantación presenta una sola tolva a lo largo de toda la unidad y un punto de purga al final de la tolva en mención.

➤ **FILTRACIÓN:**

Se cuenta con una batería de cuatro filtros simples de arena de flujo descendente de tasa constante y nivel variable, las cuales funcionan por gravedad interconectados entre sí para realizar el proceso de retrolavado o limpieza de los filtros.

➤ PROCESO DE DESINFECCIÓN:

En un inicio se utilizaba hipoclorito de calcio la cual fue reemplazada por un sistema de cloro líquido, el hipoclorito se usa en casos eventuales o de emergencia.

- ✓ Caseta de desinfección: se tiene un ambiente que contiene dos balones de cloro líquido con su respectiva bomba de inyección y balanza.
- ✓ Cámara de contacto: no cuenta con una cámara de contacto en reemplazo de esta unidad usan la cisterna para dosificar el cloro.

• PTAP N° 2 - SECTOR LA MOYA:

Cuenta con dos unidades de tratamiento en paralelo denominadas PTAP N° 2A y PTAP N° 2B, las dos plantas se ubican en la zona denominada La Moya a unos metros de la captación, ubicado al lado del río Ayaviri. La ubicación georeferenciada es 14°53'28"S y 70°35'42"O, aproximadamente a los 3900 m.s.n.m. Es abastecido periódicamente en época de avenida y de estiaje se bombea el agua del río Ayaviri. La captación del agua del río Ayaviri para esta planta es similar a la captación para la PTAP N° 1, ya que también se cuenta con la estructura Caisson, el bombeo a la PTAP N° 2 se realiza durante todo el año, ya sea en época de avenida o estiaje.



Figura 10. Planta de Tratamiento de Agua Potable N°2 - Sector La Moya.

Fuente: propia

Cuenta con los siguientes componentes estructurales de tratamiento:

➤ DOSIFICACIÓN - APLICACIÓN DEL MEDIO COAGULANTE:

El proceso de dosificación se realiza mediante una bomba regulable, conectado a un depósito donde se mezcla el coagulante (policloruro de aluminio en solución acuosa), este sistema se encuentra ubicado al inicio de la planta en la parte superior mediante un tanque elevado al lado del floculador.

➤ FLOCULACIÓN - FORMACIÓN DE FLÓCULOS:

El proceso se realiza mediante la estructura llamada floculador que es de flujo horizontal, esta estructura contiene tres compartimientos, cada compartimiento cuenta con un sistema de pantallas que hace posible subdividir los tres compartimientos en pequeños canales, lo cual hace que el agua tenga un flujo tipo pistón, el recorrido uniforme y en forma horizontal, dichas pantallas son de concreto armado y tienen 1.40 m. de altura aproximadamente.

➤ DECANTACIÓN - SEDIMENTACIÓN DE FLÓCULOS Y RECOLECCIÓN DE AGUA DECANTADA:

Se cuenta con dos sedimentadores, uno por cada planta aparentemente se incluyeron la instalación de láminas, de flujo horizontal con un ingreso en todo lo ancho de la unidad mediante el canal de interconexión que conecta el floculador con el decantador. Presenta las siguientes zonas:

- ✓ Zona de entrada y salida: canal de interconexión que sirve para el ingreso a todo lo ancho de la unidad la cual cae a la unidad de sedimentación en forma casi homogénea y la salida del agua sedimentada, se recolecta mediante unas ventanas ubicadas por debajo del acceso peatonal donde se ubica al canal de interconexión de los filtros.
- ✓ Zona de decantación: no existe zona de decantación, existen evidencia de que hubo un sistema de pantallas, las cuales no se encuentran instaladas.

- ✓ Zona de depósito y extracción de lodos: existe una sola salida de lodos donde la pendiente de toda la unidad direcciona todos los sedimentos al punto de purga por debajo del acceso peatonal.
- FILTRACIÓN:
Se cuenta con una batería de cuatro filtros simples de arena de flujo descendente de tasa constante y nivel variable, que funcionan por gravedad interconectados entre sí para realizar el proceso de retrolavado o limpieza de los filtros.
- PROCESO DE DESINFECCIÓN:
En este proceso se emplea el cloro gas como medio desinfectante:
 - ✓ Caseta de desinfección. ee tiene un ambiente que contiene dos balones de cloro gas con su respectiva bomba de inyección y balanza.
 - ✓ Cámara de contacto: no se cuenta con una cámara de contacto, en reemplazo de esta unidad se emplea el canal de recolección de agua filtrada para dosificar el cloro.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo se alcanzaría la mejora de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Ayaviri, Melgar, Puno - 2018?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el estado situacional de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Ayaviri, Melgar, Puno – 2018?
- ¿Cuál es el caudal de ingreso y cuál es el tiempo de retención en el floculador y decantador de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Ayaviri, Melgar, Puno - 2018?

- ¿Cuál es la dosis óptima del coagulante en la aplicación en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Ayaviri, Melgar, Puno - 2018?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Proponer la alternativa de mejora de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Ayaviri, Melgar, Puno - 2018.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el estado situacional de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Ayaviri, Melgar, Puno - 2018.
- Analizar el caudal de ingreso y tiempo de retención en el floculador y decantador de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Ayaviri, Melgar, Puno - 2018.
- Determinar la dosis óptima del coagulante en la aplicación en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Ayaviri, Melgar, Puno - 2018.

1.3. Justificación e Importancia

1.3.1. Justificación

El agua potable es importante en cuanto a la salud y desarrollo, cabe indicar que, la ONU en el año 2010 declaró al agua potable como un derecho humano básico. Es imprescindible contar con calidad y cantidad de agua potable, ya que la escasez del agua se relaciona con enfermedades parasitarias, debido a la falta de higiene (17).

En el año 1991, en el Perú ocurrió la epidemia del cólera, debido a la carencia en el tema de agua y saneamiento, por lo que, se afectó a más

de 300 000 personas en menos de un año, y se registró aproximadamente de 4 000 fallecidos por la epidemia (18).

Es por ello, que se realizó una visita preliminar a las Plantas de Tratamiento de Agua Potable en la ciudad de Ayaviri, las cuales son: PTAP - Sector Circunvalación y PTAP - Sector La Moya. De acuerdo a la información proporcionada por los operarios de la PTAP existente, estas presentan deficiencias tanto en la parte operacional como en su mantenimiento, por lo que ocasiona un tratamiento ineficaz e inadecuado, ya que se trata de agua para consumo humano.

Así mismo, los pobladores manifiestan que el agua que llega a sus viviendas presenta coloración, es decir el agua no es cristalina, lo cual es notorio en épocas de avenida, ya que el agua tratada continúa con alta turbidez.

Por lo mencionado anteriormente, es que se decide llevar a cabo una constatación del tratamiento actual que se realiza en las Plantas de Tratamiento de Agua Potable, para identificar las deficiencias en todos sus componentes, ya sean estructurales, hidráulicas, operacionales, entre otras, con la finalidad de proponer el mejoramiento de la PTAP de Ayaviri.

1.3.2. Importancia

El estudio de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) desempeña un papel importante en torno al desarrollo socioeconómico de la población, ya que toda PTAP después de construida debe llevar un seguimiento tanto de prevención como de mantenimiento.

El funcionamiento de la PTAP de Ayaviri presenta inconvenientes en el tratamiento del agua y en su mantenimiento, por lo que no estaría cumpliendo con las normas vigentes en cuanto a la calidad del agua, poniendo en riesgo la salubridad de la población. Por tal motivo, es importante proponer el mejoramiento de los procesos de la PTAP de Ayaviri para garantizar que los pobladores tengan acceso a un sistema de tratamiento de calidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes encontrados en artículos científicos

En el artículo titulado: “Recomendaciones para diseño y optimización de plantas de tratamiento de agua potable, considerando aspectos de funcionalidad y durabilidad” realizado en Colombia, se tuvo como objetivo brindar recomendaciones prácticas para la concepción de diseños nuevos u optimización de sistemas existentes. La muestra se obtuvo de las plantas de tratamiento de agua potable de las poblaciones de la Costa Caribe - Colombia. La metodología consistió en la recolección, selección, clasificación y análisis de información. Los resultados fueron los siguientes: a) uso de tecnologías no ajustadas al nivel socioeconómico de las comunidades donde se implementan, b) uso de sistemas de aplicación de químicos y mezcla rápida mal construido, c) sistema de floculación con problemas de operación y elementos básicos en mal estado, d) problemas comunes en sistema de sedimentación, e) inconvenientes comunes Sistema de filtración, f) inconvenientes en Sistemas de desinfección mediante cloración, g) inconvenientes en el manejo de lodos, e h) impacto ambiental de plantas de tratamiento de agua potable. Por lo tanto, se concluyó que las problemáticas principales están asociadas al uso de materiales y tecnologías no apropiadas que generan problemas en la

operación, ya que en el caso de los materiales estos sufren deterioros graves que afectan la integridad de las estructuras (19).

En el estudio titulado: “Diagnóstico y Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Municipio de Miraflores - Boyacá” realizado en Colombia, se tuvo como objetivo analizar el estado actual de cada estructura de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP). La metodología consistió en realizar un diagnóstico técnico y operativo de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable actual, así mismo se realizó estudios de laboratorios. Como resultado se obtuvo que la PTAP: a) cumplió la vida útil de diseño (25 años), b) presenta problemas estructurales y de dimensionamiento, c) presenta falencias y problemas de mantenimiento en los diferentes componentes, d) la estructura de los tabiques de floculación están deterioradas en un 80 %, e) las válvulas de operación de los filtros se encuentran en pésimo estado, f) los tanques de almacenamiento de productos químicos, como dosificación de cal y sulfato de aluminio, no generan confiabilidad en cuanto al aseo y hermeticidad de los productos, y g) brinda agua apta para consumo humano, ya que cumple con los estándares estipulados. Por consiguiente se concluyó diseñar una nueva estructura de la PTAP, teniendo en cuenta la población proyectada y el caudal a tratar, a fin de lograr una mejor eficiencia y un funcionamiento adecuado de cada estructura o componente de la Planta de Tratamiento de Agua Potable y cumpliendo las especificaciones técnicas y estructurales establecidas, al mismo tiempo dicha PTAP debe contar con una laboratorio con equipos de última tecnología para evaluar las propiedades fisicoquímicas del agua y de esta manera proporcionar a la población agua de excelente calidad (20).

2.1.2. Antecedentes encontrados en tesis

En el proyecto titulado: “Propuesta para el Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Bituima, Cundimarca”, realizado en la Universidad de la Salle - Bogotá, se tuvo como objetivo principal proponer el mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Agua

Potable del Municipio de Bituima, Cundimarca a través de un diagnóstico, diseños de alternativas y evaluación de las mismas, con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes de este municipio. Las muestras se tomaron en la fuente superficial y en el efluente (en cada una de las unidades). La metodología utilizada fue de enfoque cuantitativa, el proyecto se desarrolló en tres fases: 1) diagnóstico, 2) diseño de alternativas y 3) evaluación de alternativas. Los resultados obtenidos en cuanto a la medición del caudal en temporadas de invierno es de 333 L/s y 299 L/s en temporada de verano, por lo que se consideró el caudal constante; en cuanto a la caracterización fisicoquímicas y microbiológicas del afluente los resultados fueron comparados con la Resolución 2 115/07 (valor máximo permisible), a continuación se detalla: fosfatos en la muestra 1 y 2 fue de 0.57 mg/L, superando el Valor Máximo Permisible (VMP) de 0.50 mg/L; coliformes totales se obtuvo en la muestra 1 y 2 230 UFC/100mL, teniendo como Valor Máximo Permisible de 0 UFC/100 mL; y *E. Coli* se obtuvo tanto en la muestra 1 y 2 de 145 NMP/100, teniendo como Valor Máximo Permisible 0 NMP/100; estos parámetros mencionados son críticos ya que sus valores son mayores a los permisibles, en cuanto a los valores de pH, turbiedad, alcalinidad, dureza y nitratos cumplen con la normatividad, por lo que se califica al afluente de buena calidad, requiriendo un tratamiento que incluya desinfección para disminuir o eliminar los coliformes totales. En base a la Inspección de la PTAP se identificó hallazgos a mejorar, las cuales son: a) aspecto operativo, ausencia de un operario permanente, b) aspecto técnico, los dosificadores funcionan por temporadas ya que la mayoría del tiempo de operación permanecen taponados por el coagulante; las unidades de filtración adicionales no se encuentran en funcionamiento; en la canaleta de entrada a la planta se dosifican: sulfato aluminio tipo B, hipoclorito de calcio y cal; el punto de aplicación del coagulante no es el correcto, debido a que en esta zona no se presenta una mezcla rápida del mismo; turbulencias en las cámaras de floculación que indican posibles conexiones entre ellas; y la cámara anterior al sedimentador no cumple una función dentro del tratamiento y puede generar rompimiento de los flocs, c) operación de la planta, no se monitorea constantemente el caudal a la entrada y salida de la PTAP; no se observó la formación de flocs durante el tratamiento; solo

hay un operario para la PTAP y su permanencia no es constante durante los días. En cuanto a la caracterización del efluente, el caudal con el que ingresa a la PTAP es de 3.5 L/s y en el tanque de almacenamiento de 3.3 L/s, lo que estaría representando una pérdida de caudal general del 5.7 % dentro de la PTAP, es por ello que se analizó 18 muestras (3 réplicas a la entrada/salida de cada una de las unidades) y los resultados de los parámetros se obtuvieron al promediar, los cuales son: la PTAP cumple con la mayoría de los parámetros exigidos por la normatividad, excepto con el parámetro de coliformes totales, ya que cuenta con 15UFC/100 cm³. Se llegó a la conclusión que la PTAP cuenta con falencias en el tratamiento del agua potable, por ello se recomendó la alternativa de mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable más viable con base en criterios económicos y ambientales del municipio de Bituima, Cundimarca, asimismo implementar un tanque de contacto de cloro para disminuir de manera significativa los microorganismos presentes en el agua, mejorando de esta manera la eficiencia de la planta y la calidad de vida de la población involucrada (21).

En la investigación titulada: “Evaluación y Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Purificación en el Departamento de Tolima”, desarrollada en la Universidad Católica de Colombia, se tuvo como objetivo proponer una alternativa de diseño viable y eficiente a la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) actual del municipio de purificación. La metodología utilizada consistió en: a) analizar la PTAP realizando una visita previa, b) recopilación de datos, los dimensionamientos de todo el sistema de la PTAP, c) analizar todo su diseño actualmente, y d) diseñar la optimización de una nueva PTAP. Los resultados obtenidos de la evaluación de la PTAP existente, es que presenta un diseño sobredimensionado, ya que está tratando un caudal de 90 L/s, de los cuales solo el 50 % del caudal es utilizada por la población; y los componentes como canal Parshall, floculador, sedimentador y filtros no cumplen los parámetros establecidos por las Normas. Por ello se concluye que, a la PTAP debe ingresar solo 45 L/s, y de este modo se aplicaría la mitad de los químicos que se viene utilizando en el tratamiento, utilizar alternadamente las cámaras en el proceso de floculación, en el

sedimentador aumentar el número de sedimentadores y sus dimensiones, de la misma manera aumentar el número de filtros, con la finalidad de garantizar una mejor remoción del agua a menor costo (22).

En la tesis titulada: “Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Vinces”, desarrollada en la Universidad de Guayaquil, Ecuador, se tuvo como objetivo principal evaluar el sistema de potabilización de la planta de agua potable de la ciudad de Vinces para mejorar la cantidad y calidad del servicio de abastecimiento minimizando la afectación en la salud del habitante. La metodología utilizada consistió en: a) Realizar análisis fisicoquímico y microbiológico del agua del río Vinces, b) prueba de jarras, c) encuestas a los habitantes de la ciudad de Vinces, y d) evaluación de la planta, como son los cálculos en el sistema de bombeo de agua cruda, tanques de abastecimiento para proceso, sistema de floculación y sedimentación, sistema de filtrado, tanque de almacenamiento de agua tratada y finalmente el sistema de bombeo a los habitantes. Los resultados obtenidos son: a) el pH, el color, el DBO₅, el DQO, sulfatos, sólidos totales disueltos, el Hierro, nitritos, cumplen con la norma ecuatoriana INEN. En cuanto a la turbidez se encuentra en 3.51 NTU, por lo que se encuentra dentro del rango permitido de acuerdo a la norma ecuatoriana INEN. De acuerdo a la OMS, el máximo permitido es de 2 NTU y el ideal es 1 NTU, por lo que los filtros deberán ser capaces de bajar la turbidez y mantener por debajo del 1 NTU. Con respecto al análisis microbiológico, no hay presencia de coliformes fecales, pero si coliformes totales. En la encuesta realizada se obtuvo que la calidad del agua es deficiente, ya que el agua presenta color tendiendo a negro. De acuerdo a la evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua, se identificó que el tanque de abastecimiento de agua cruda, por lo que el diseño de dos desarenadores en paralelo. Por tanto, se llegó a la conclusión que, de acuerdo al análisis fisicoquímico del agua del río Vinces, ésta es apta para ser utilizada en la planta de tratamiento; asimismo la mayor parte de las etapas de proceso se debe realizar modificaciones excepto en las unidades de sedimentación ya que cumple con el tiempo de retención; en cuanto a los desarenadores ayudará a reducir los tiempos de paradas de proceso y deberá ser ubicado antes del tanque de abastecimiento de agua

cruda y tendrá la función principal de receptor toda la arena que venga con el agua cruda del río Vinces, esto evitará que el sistema de abastecimiento de agua cruda a la unidad de mezclado rápido se sobre cargue y evitará los daños en las bombas (23).

En la tesis titulada: “Evaluación y Optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Tena en el Departamento de Cundimarca”, desarrollada en la Universidad Católica de Colombia, se tuvo como objetivo principal evaluar técnicamente la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) del municipio de Tena - Cundimarca para su posterior optimización. La metodología utilizada consistió en: recopilación de información técnica PTAP, visita a la PTAP, análisis de información recolectada, pruebas hidráulicas, muestreo, análisis fisicoquímico de la muestra, elaboración de alternativas y descripción de alternativas. Los resultados obtenidos son: en cuanto a las características fisicoquímicas del afluente, la cantidad de cloruro residual es muy poca respecto al valor admisible y se puede disminuir parámetros como los coliformes fecales y totales y fosfatos los cuales no están cumpliendo con los valores máximos permisibles. Con lo dicho anteriormente se deduce que se requiere de una mayor dosificación de cloro ya que esta permite la disminución de coliformes presentes. En el diagnóstico hidráulico, el canal Parshall se encuentra calibrado y su estructura no presenta fallas; el floculador presenta erosión en sus pantallas y no cumple en tiempo de retención y la gradiente; el sedimentador funciona correctamente; el sistema de filtración es adecuada, cumple con parámetros y se encuentra en buen estado; el cloro residual en la salida de la planta es menor a 1 mg/L lo cual no cumple con los parámetros establecidos en la resolución 2 115 de 2 007, por lo tanto, se llegó a la conclusión que de acuerdo a los resultados obtenidos se elaboró tres alternativas de optimización que contribuye con el buen funcionamiento de la planta, con una mejor calidad de agua y con un mejor aprovechamiento del recurso, estos son: rediseño de la unidad de floculación, porcentaje de pérdidas técnicas (instalación de un macromedidor) y la modificación del difusor de cloro (24).

En la investigación titulada: “Diseño del Plan de Mejoramiento de la Planta de Potabilización del Acueducto Comunitario de la Vereda Agualinda Chiguaza”, desarrollada en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C. se tuvo como objetivo diseñar plan de mejoramiento de la planta de potabilización del acueducto comunitario de la Vereda Agualina Chiguaza. La metodología utilizada fue mixta y estuvo estructurada en 04 fases: 1) descripción, 2) análisis, 3) diagnóstico, y 4) plan de mejoramiento. Los resultados obtenidos son: a) la infraestructura de la PTAP presenta problemas estructurales en un 88.89 %, dichos problemas son por corrosión en válvulas y tuberías de acero, grietas en estructuras de bocatomas, desarenador y en el tanque de almacenamiento, fugas y desgastes, b) los procesos que se desarrolla en la PTAP, que son aireación, coagulación, ajuste de pH, floculación y sedimentación, presentan falencias operativas con un 33.34 %, c) en cuanto a la eficiencia de la PTAP opera con un 61.11 %. Las alternativas de solución son: a) utilizar pintura inhibidora de corrosión leve, para detener la corrosión cuando es leve, b) realizar cambios de tubería y válvulas con corrosión moderada, ya que utilizar pintura inhibidora de corrosión se estaría contaminando el agua que transcurre dentro de ellas, c) resanar las grietas superficiales y externas cuando estas sean leves, d) reemplazo del material o parte que presenta algún daño, es decir cambiar toda la estructura, e) implementar escalera fija con protección de espalda o escalera gato, lo cual brindará seguridad al operario. Debido a ello, se concluye que: a) se necesita mayor acompañamiento de entidades que presten control, inspección y vigilancia en el manejo adecuado de las estructuras y en el desarrollo de los procesos de la PTAP, b) es importante capacitar al operario en cuanto al manejo de y desarrollo de los procesos de la PTAP, y c) es importante incursionar en tecnologías aplicadas al mantenimiento de la PTAP, para asegurar que la limpieza y la remoción de lodos se realicen en tiempos adecuados, y así contribuir a maximizar la eficiencia de la PTAP (25).

En la tesis titulada: “Diagnóstico y propuesta de Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de la Palma - Departamento Cundimarca - Colombia”, desarrollada en la Universidad Católica de

Colombia, se tuvo como objetivo principal proponer una propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable en el municipio de La Palma Cundimarca. La metodología utilizada consistió en: realizar la visita a la PTAP, para la recolección de datos y de muestras de agua, las cuales fueron analizadas en el laboratorio para determinar la calidad del agua que se está tratando; se realizó el diagnóstico de la PTAP, para luego validar los datos y resultados, de modo que se analice posteriormente a éstos últimos a través del cual se evaluó el funcionamiento de la PTAP, de modo que se proponga el mejoramiento de la planta. Los resultados obtenidos son: en cuanto a los parámetros de la calidad del agua: conductividad 387 $\mu\text{S}/\text{cm}$, resistividad 2.58 $\text{K}\Omega/\text{cm}$, sólidos suspendidos 206 mg/L , salinidad 0.2, pH 7.21, turbidez 3 UNT, color 10 UPC, temperatura 21.2 $^{\circ}\text{C}$ y aluminio 0.064 mg/L , de los cuales la turbidez no cumple con lo que exige la resolución 2 115 de 2 007, ya que es superior a 2 UNT, en cuanto a la evaluación de la PTAP, los floculadores mecánicos no funcionan, el floculador de flujo horizontal no cumple con los parámetros para realizar una buena mezcla lenta, y el sedimentador no cumple con los periodos de retención ni con la carga hidráulicas. Por lo tanto, se llegó a la conclusión que de los dos tipos de floculadores diseñados, la mejor opción es el floculador hidráulico, debido a que en la PTAP se cuenta con espacio suficiente, es más económico y su mantenimiento es mínimo, en cuanto al sedimentador, se propuso 02 sedimentadores tasa alta con el caudal proyectado a los 25 años que es 45 L/s , debido a ello, se debe realizar un manejo sustentable del material sedimentado, para esto es necesario la construcción de una piscina de lodos; en base a los parámetros del agua se requiere técnicas y equipos adecuados para realizar el tratamiento de potabilización y cumplir con la norma; así mismo es necesario la intervención en cada una de las estructuras de la PTAP, ya que no cumplen con los requerimientos hidráulicos, por lo que se realizó un mejor diseño en términos hidráulicos y económicos (26).

En la investigación titulada: “Evaluación Hidráulico de la planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Togüí - Boyacá”, desarrollada en la Universidad Piloto de Colombia, se tuvo como objetivo principal realizar el diagnóstico operativo de la planta de tratamiento de

agua potable del municipio de Togüí - Boyacá. La metodología utilizada es evaluativa y se desarrolló en fases, las cuales son: a) investigación previa, b) visita de campo, c) organización de la información, d) verificación del funcionamiento de la PTAP, y e) recomendaciones y conclusiones. Los resultados que se obtuvo son: a) la PTAP trabaja con un caudal de 5.5 L/s, lo cual es demasiado alto, ya que con la población que cuenta solo debería trabajar o ingresar un caudal de 2.9 L/s, b) en el proceso de coagulación se utiliza el sulfato de aluminio tipo B, en la cual dicho proceso no cumple con lo establecido en la normativa de Colombia, c) en el proceso de floculación, cuyo flujo es vertical, en el proceso de sedimentación cumplen con la normativa; d) la velocidad de filtración es superior a lo establecido a la normatividad; y e) los lodos que se generan en la PTAP se disponen al río Ubasá. Por lo tanto, se concluyó que en la PTAP se debe implementar un filtro más, para mejorar la velocidad de filtración e implementar una estructura para el manejo adecuado de lodos que se genera, y de esta manera mejorar su capacidad de tratamiento y aumentar el periodo de diseño hasta el año 2 044 (27).

En la investigación titulada: “Optimización del Modelo de la PTAP del Laboratorio de la Universidad Católica de Colombia”, se tuvo como objetivo principal la optimización del modelo de la PTAP que se encuentra en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia, de acuerdo a las normas y estándares nacionales. La metodología utilizada se determinó en 04 fases: 1) diagnóstico del estado de la PTAP, 2) diseño de alternativa de mejora, 3) la construcción de la alternativa de mejora; y 4) evaluación del desempeño de la PTAP. Los resultados obtenidos son: a) la PTAP presenta fugas en el floculador, sedimentador y filtro rápido, por lo que se realizó el sellamiento de las fugas existentes, b) existe problemas de extracción de lodos en las fases de floculador y sedimentador, debido al estancamiento de sólidos suspendidos que ingresan con el agua cruda, c) no cuenta con mezcla rápida, para introducir el coagulante y formar los flóculos; por lo que se instaló una mezcla rápida y se utilizó el coagulante tipo b (sulfato de aluminio) y d) la PTAP no trabaja con un caudal constante y no funciona a gravedad, así que se utilizó un caudal de 0.2 L/s. En cuanto a la estructura se instaló una cámara de aquietamiento, un canal de

transición, una canaleta Parshall; así mismo se realizó análisis del agua cruda y prueba de jarras. Por lo que se concluyó que, es importante realizar un diagnóstico técnico de la PTAP, para identificar las falencias existentes en la planta, ya que con esta información se pueda plantear alternativas de solución y a su vez optimizar cada componente de la PTAP, de modo que se alcance a brindar u obtener calidad y agua y eficiencia del sistema de la PTAP (28).

2.1.3. Otros documentos

PROYECTOS DE OPTIMIZACIÓN DE PTAP (29):

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) y el Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento (OTASS) realizaron proyectos de optimización de Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), valorizadas en más de S/ 27.8 millones, lo cual beneficiará a cinco ciudades del Perú. El proyecto de Tumbes fue repotenciar la PTAP El Milagro y rehabilitar una PTAP que se encontraba inoperativa hace 13 años, lo cual aumentó la producción de 240 (L/s) a 360 (L/s), asimismo la calidad de agua potable. En cuanto a la EPS SEMAPACH se incrementó la producción de 120 (L/s) a 150 (L/s) y a su vez se mejoró la calidad de agua, ya que se realizó el cambio de filtros y otros componentes de la PTAP. Por otro lado, en Bagua la EPS EMAPAB, se realizó la construcción de una estación de bombeo, de una cisterna y una instalación de línea de impulsión que abastece a un reservorio, lo que mejorará la calidad de vida de la población. En la EPS Moyobamba se realizó el mejoramiento de varios componentes y ampliación de la PTAP San Mateo, ya que producía 75 (L/s), cuando estaba diseñado para una producción de 65 (L/s), debido a la ampliación esta PTAP tendrá una producción de 100 (L/s) y se construirá un reservorio, que tendrá la capacidad de 1800 m³. Por último, en EMAPA Cañete, la PTAP Alminares, se incrementará la producción de agua potable de 36 (L/s) a 90 (L/s), asimismo se realizará la construcción de un nuevo reservorio con capacidad de 800 m³ incluido 01 sala de dosificación, 01 laboratorio, 01 caseta de cloración y válvulas.

EMAPA CAÑETE S.A. (30):

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Cañete solicitó a la OTASS un financiamiento para fortalecer las capacidades de la PTAP N°01 y PTAP N°02 Alminares, donde se requiere la adquisición de equipamiento en las unidades de floculación, decantación, filtros rápidos y cloración, de la misma resanar las estructuras y una evaluación de la planta en mención, con la finalidad de brindar una buena calidad de agua para consumo humano; es por ello que la OTASS aprueba la transferencia financiera a favor de EMAPA Cañete, mediante la Resolución Directoral N°063-2017-OTASS/DE el 15 de Nov. del 2 017.

EPS TACNA S.A. (31):

La Empresa Prestadora de Servicio de Tacna solicitó a la OTASS un financiamiento para optimizar el sistema de purga de la unidad de floculación y decantación, y reposición de válvulas de la batería de filtros rápidos en la PTAP Calana, en la cual se requiere el equipamiento para las unidades de floculación, decantación, filtros rápidos y una verificación del funcionamiento de la planta en mención, dicha solicitud se realizó mediante el Oficio N°2134-2017-300-EPS TACNA S.A. el 13 de setiembre de 2 017. Ante la necesidad de la PTAP, la OTASS autoriza el financiamiento a favor de la EPS Tacna, mediante la Resolución Directoral N°065-2017-OTASS/DE con fecha del 15 de noviembre de 2 017.

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHACHAPOYAS (32):

La población de Chachapoyas no cuenta con una planta de tratamiento de agua potable, y su sistema de alcantarillado se encuentra deteriorado, ocasionando una mala calidad de vida a la población, por lo que la Municipalidad Provincial de Chachapoyas y otras entidades financian un proyecto de mejoramiento y rehabilitación del servicio de agua potable y alcantarillado; el expediente técnico indica que el tratamiento que tendrá la PTAP constará de los siguientes procesos: mezcla, floculación hidráulica, sedimentación acelerada con placas inclinadas, filtración rápida con tasa declinante y auto lavado y desinfección, dicho documento se aprobó a través de la Resolución de Alcaldía N°198-2014-MPCH, con fecha de 16 de abril del 2 014.

2.2. Base legal

Según la Constitución Política del Perú en el Artículo 2°, todas las personas tenemos derecho a vivir en un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de nuestras vidas. (33)

La Ley General del Ambiente N°28611, en el artículo 114° hace mención al agua para consumo humano, la cual es un derecho de la población y el Estado es el responsable de vigilar el abastecimiento poblacional. (34)

En el Artículo 40° de la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, indica que el Estado debe garantizar en cuanto a cantidad y calidad el servicio de agua potable. (35)

Según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano D.S. N°031-2010-S.A., en el Anexo N° 02 nos indica los Límites Máximos Permisibles del agua para consumo humano que debemos tener en cuenta para garantizar la prevención de enfermedades transmitidas a través del agua. Asimismo, en el Artículo 7° y 8°, indican que se debe realizar vigilancias, controles y supervisión de la gestión de la calidad de agua, y las entidades que participan en la gestión son el: Ministerio de Salud, Ministerios de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, Gobiernos Regionales, Gobiernos Locales, Provinciales y Distritales, Proveedores del agua para consumo humano y las Organizaciones comunales y civiles representantes de los consumidores. (36)

Asimismo, el Estándar de Calidad Ambiental del Agua, el D.S. N°004-2017-MINAM, aprueba los estándares de calidad del agua, en la cual indica cuatro (04) categorías, las cuales son: Categoría 1: Poblacional y recreacional, la cual se tendrá en cuenta en el presente estudio para medir la calidad de la fuente de agua para su tratamiento; la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales, Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales, y la categoría 4: Conservación del ambiente acuático. (37)

El Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento (OTASS), Ley N°30045, tiene la función de apoyar a empresas prestadoras de servicio de saneamiento que necesitan ser reflotadas. (13)

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), través de ellos se han desarrollado los manuales de tratamiento de agua potable,

que contiene los fundamentos y metodología para el diseño de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), de los cuales se toman las descripciones y cálculos respectivos que se encuentran establecidos en las Obras de Saneamiento del Reglamento Nacional de Edificaciones (38).

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Agua

El agua es un elemento de la naturaleza, cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, cuyos enlaces son covalentes, lo que hace que el agua sea estable (39). Según la Ley N° 29338: “el agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan, y la seguridad de la Nación” (40). La distribución del agua en la Tierra es muy variable, el 97.5% del agua total es agua salada, y la diferencia, el 2.5 % es agua dulce (41). La mayor cantidad de agua dulce se encuentra congelada (estado sólido) en glaciares, las cuales cubren las montañas altas y solo un pequeño porcentaje del agua dulce se encuentra en estado líquida. La mayor cantidad del agua dulce existente en la Tierra, se encuentra en América del Sur, siendo el Perú, el país que cuenta con el 1.89 % de agua dulce (42).



Figura 11. Distribución del agua dulce por Continentes.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (42).

2.3.2. Importancia del agua

El agua es imprescindible en la vida y en el medio ambiente, ya que no se puede reemplazar con ningún otro elemento (43). No solo es importante como recurso vital, sino también como recurso económico, ya que se utiliza en diferentes actividades industriales. Su importancia no solo se limita a la supervivencia de la humanidad, ya que es indispensable: en la agricultura, en la ganadería, en la higiene personal, como elemento de transporte y es fuente de energía (44). Es por ello, que el agua ha sido declarada como un derecho fundamental para los seres humanos, por lo que la protección de este recurso, es responsabilidad de todos los países y cada una de las personas, con la finalidad de no acabar con el recurso del agua dulce.

2.3.3. Contaminación del agua

Las principales causas de contaminación del agua son: la deposición de residuos sólidos en las fuentes de agua; los vertidos incontrolables de las aguas residuales tanto urbanas como industriales, ya que no realizan un tratamiento previo antes de desecharlas; la acumulación de sustancias químicas en el suelo, lo que estaría afectando al agua subterránea (45). Debido a la contaminación del agua, se afecta negativamente a la biodiversidad y ecosistemas acuáticos, alterando la cadena alimenticia, así mismo genera malestar al ser humano al utilizar el agua contaminada y consumir alimentos contaminados, por lo que, el agua debe ser tratada adecuadamente antes de ser consumida por las poblaciones, ya que un inadecuado tratamiento podría generar problemas en la salud. Las enfermedades que son transmitidas por el agua son: el cólera, fiebre tifoidea, shigella, poliomiélitis, meningitis y hepatitis A y E (46). En el Perú se realizó un diagnóstico en el año 2012, acerca de las principales fuentes de contaminación del agua, por lo que, la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos (DGCRH), indicó que el vertimiento de aguas residuales municipales y actividades mineras con las más resaltantes (47).

CUERPO DE AGUA	UBICACIÓN	TIPO DE CONTAMINACIÓN Y ORIGEN
Río Amazonas	Loreto	Afectado por vertimiento de aguas residuales municipales, grifos flotantes, derrame de petróleo.
Río Madre de Dios y afluentes	Madre de Dios	Afectado por la minería ilegal e informal.
Río Tambo	Moquegua-Arequipa	Boro y Arsénico (origen natural).
Río San Juan	Pasco	Afectado por vertimientos mineros y municipales.
Río Perené	Pasco	Afectado por vertimientos mineros y municipales.
Río Piura	Piura	Afectado por vertimiento de aguas residuales municipales.
Río Chira	Piura	Afectado por vertimiento de aguas residuales municipales y agrícolas.
Río Coata	Puno	Vertimiento de aguas residuales municipales.
Río Ramis	Puno	Minería ilegal e informal (vertimientos de relaves mineros).
Río Ayaviri-Pucará	Puno	Vertimiento de aguas residuales municipales.
Bahía Interior de Puno-Lago Titicaca	Puno	Afectada por vertimiento de aguas residuales municipales.
Bahía de Yunguyo-Lago Titicaca	Puno	Afectada por vertimiento de aguas residuales municipales.
Río Sachet	Puno	Afectado por la minería ilegal e informal generada por mineros peruanos y bolivianos.
Río Sandi	Puno	Afectado por vertimientos municipales.
Río Tumbes	Tumbes	Afectado por vertimientos de aguas residuales municipales, actividades mineras en el Ecuador.
Río Hualлага	Licayali	Afectado por vertimiento de aguas residuales municipales.

Figura 12. Tipo y Origen de Contaminación de los Recursos Hídricos en el Perú.

Fuente: Calidad de Agua en el Perú (47).

2.3.4. Calidad de agua

Cuando se habla de calidad de agua, se refiere a que el agua reúne ciertas características físicas, químicas y microbiológicas. (17) Dicha calidad se determina con directrices o estándares de calidad de agua, con la finalidad de proteger la salud de las personas (48). La calidad del agua potable, es una preocupación a nivel mundial, ya que se relaciona con la salud humana (49). Por tal motivo, se debe tener un adecuado tratamiento y control por parte de las entidades encargadas del abastecimiento de agua potable. En el Perú, se estableció y aprobó el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, con el Decreto Supremo N°031-2010-SA.

2.3.5. Agua potable

El agua potable, es considerada apta para consumo humano, ya que puede utilizarse de manera segura. El agua potable se obtiene al realizar un tratamiento, la cual consiste en una serie de procesos: floculación, sedimentación, filtración, desinfección, entre otros. Cabe indicar, que los procesos o tipos de tratamiento de agua, son diferentes en cada lugar, ya que la fuente de agua tiene diferentes características (50).

En el Perú, aproximadamente el 22.7 % de la población nacional no cuenta con agua potable (51). Por lo que, estas personas estarían consumiendo agua no potable, lo que ocasionará malestar en la salud de las personas. A nivel nacional, existen Plantas de Tratamiento de Agua Potable, las cuales presentan deficiencias, una de ellas se ubica en el caserío de Pedregal Grande - Piura, la cual estuvo brindando agua no apta para consumo humano, durante el año 2018, debido a que no contaba con los insumos químicos para la desinfección del agua, poniendo en riesgo la salud de los pobladores de la zona (52).

2.3.5.1. Características

Según lo que establece la Organización Mundial del Salud, el agua potable debe ser limpia y segura, es decir libre de cualquier contaminante; deber ser transparente, no debe tener olor, no debe tener un sabor, es decir insípida (53).

2.3.5.2. Criterios de calidad de agua potable

Según el Manual de CEPIS, los criterios son tres, las cuales son (54):

- Los valores de cada parámetro deben asegurar la aceptabilidad del consumidor.
- La calidad el agua debe ser apta para el consumo humano
- En caso se supere los valores de los parámetros, se debe investigar la causa y consultar a las autoridades competentes.

Las autoridades de cada país deben asegurar que las plantas de tratamiento de agua potable, estén brindando una adecuada calidad de agua para consumo humano, considerando las normas y leyes nacionales.

2.3.6. Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP)

Una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), es un sistema, formado por procesos, la cual sirve para mejorar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, para que de esta manera pueda ser consumida por una determinada población, sin causar daños a la salud. (19). Las plantas de tratamiento de agua se clasifican por el tipo de proceso, que pueden ser de filtración rápida y filtración lenta. Cabe mencionar que, por el tipo de tecnología utilizada, las plantas de filtración rápida se clasifican en tres sistemas: a) sistemas de tecnología convencional clásica o antigua, b) sistemas convencionales de alta tasa o de tecnología CEPIS/OPS, y c) sistemas de tecnología patentada (55).

2.3.7. Principales procesos en el tratamiento de agua potable

El proceso en el tratamiento del agua para consumo humano es muy variable, ya que depende de las características del agua cruda que se realizará el tratamiento. A continuación, se describe los procesos unitarios en el tratamiento de agua superficial (56):

- El tamizado: En este proceso se eliminan los sólidos de mayor tamaño que se encuentran en el agua, como pueden ser: madreas, plásticos, ramas, hojarasca, etc.
- Coagulación/floculación: En este proceso se utiliza un coagulante para desestabilizar las partículas coloidales para luego ser removidas. Este proceso es importante, ya que de este dependerá la eficiencia de los sedimentadores. Cabe indicar que la coagulación se realiza en una unidad llamada mezcla rápida y la floculación se realiza en floculadores.
- Sedimentación: En este proceso las partículas en suspensión son removidas, debido al efecto de gravedad, obteniendo un fluido clarificado.
- Filtración: Consiste en la separación de partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (bacterias y virus) a través de un

medio poroso, este proceso es responsable de que el agua cumpla con los estándares de calidad de agua potable.

- Desinfección: Consiste en la destrucción de los organismos potencialmente infecciosos. Su efectividad se mide por porcentaje de organismos muertos dentro de un tiempo, una temperatura y un pH prefijados.

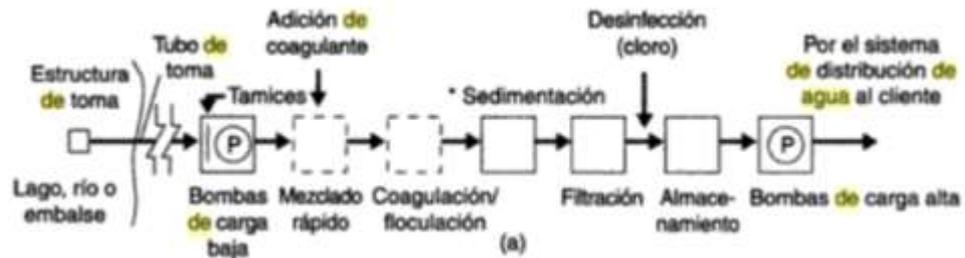


Figura 13. Esquema de una Planta de Tratamiento de Agua Potable.

Fuente: Libro Ingeniería Ambiental (56).

2.3.8. Planta de filtración rápida

En este tipo de planta los filtros operan a velocidades entre 80 y 300 $m^3/m^2.d$, de acuerdo con: las características del agua, el medio filtrante y de los recursos disponibles para operar y mantener estas instalaciones; debido a la velocidad que trabajan los filtros es importante realizar la limpieza para descolmatar los filtros y reanudar su operación. De acuerdo a la calidad de agua a tratar, existen dos soluciones (55):

- Planta de filtración rápida completa:

Estas plantas habitualmente están integradas por los procesos de coagulación, decantación, filtración y desinfección. El proceso de coagulación se realiza en dos etapas: una fuerte agitación del agua para una dispersión instantánea de la sustancia coagulante en toda la masa de agua (mezcla rápida) seguida de una agitación lenta para promover la rápida aglomeración y crecimiento de los flóculos (etapa de floculación). La coagulación permite mejorar la eficiencia de

remoción de partículas coloidales en el proceso de decantación (sedimentación de partículas floculentas). Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA) los filtros ayudan a que el efluente disminuya su turbiedad hasta o menor que 0.10 UNT, garantizando de esta manera que el efluente esté libre de huevos de parásitos, como son: la Giardia, Cryptosporidium, entre otros. Para que estos filtros trabajen de manera eficaz, es importante que el agua que sale de los decantadores cuente como máximo 2 UNT. Por último, es el proceso de desinfección, donde la finalidad de este proceso es remover todos los microorganismos patógenos que aún se encuentran en el agua. Su aplicación se realiza en la cámara de contacto, teniendo un residual libre de 1mg/L a la salida de la planta y tiempo de contacto de 30 minutos. Si se desea remover huevos de parásitos se debería aplicar dosis más altas y el tiempo de contacto debería ser más prolongado, lo cual es irrealizable; pero si el filtro operara eficazmente e ingresa a este proceso con una turbiedad menor a 2 UNT el efluente se encontraría libre de los huevos de parásitos. Para operar estos sistemas, es importante contar con personas capacitadas. En la siguiente tabla se señalan los límites que debe contar el agua para considerar esta alternativa de tratamiento.

Tabla 1. *Límites de calidad del agua para el tratamiento mediante filtración rápida completa.*

Cuadro 01-01 Límites de calidad del agua aceptables para el tratamiento mediante Filtración Rápida Completa			
Parámetros	90% del tiempo	80% del tiempo	Esporádicamente
Turbiedad (UNT)	< 1,000	< 800	Si excede de 1,000; se debe considerar presedimentación
Color (UC)	< 150	< 70	No hay condición expresa ante los rangos establecidos
NMP de coliformes termotolerantes por 100 mL	< 600		Si excede de 600; se debe considerar predesinfección

Fuente: Manual de CEPIS (55).

- Planta de filtración rápida directa:

Este método es adecuado para tratar aguas claras, aquellas que provienen de represas o embalses, ya que la estructura actúa como un presedimentador, es por ello que el agua es más clara y menos contaminada. Por lo que, su tratamiento constaría de mezcla rápida y filtración. Cuando el agua a tratar proviene de una cuenca virgen o protegida, y su turbiedad no supera de 10 a 20 UNT el 80 % del tiempo, y no supera 30 UNT ni 25 UC (color) el 90 % del tiempo, la filtración que se debe aplicar es de manera descendente. Si se cuenta con un efluente, donde la turbidez presenta frecuentes fluctuaciones, se suele considerar una floculación de menor tiempo, no mayor de 6 a 8 minutos, para obtener un efluente de calidad constante y velocidad de filtración más corta durante el funcionamiento, en cuanto a la calidad de agua a tratar esta es la alternativa más restrictiva. La filtración directa ascendente se usa cuando el agua a tratar cumple las siguientes características, el 90 % del tiempo la turbidez y el color no sobrepasan de 100 UNT y 60 UC, y alcanzan esporádicamente las 200 UNT y 100 UC. La siguiente tabla muestra las alternativas mencionadas anteriormente. Para la aplicación se debe realizar un amplio estudio de la fuente, y saber su comportamiento estacional, sobre todo en ciclos lluviosos.

Tabla 2. Límites de calidad del agua para el tratamiento mediante filtración directa.

Cuadro 01-02				
Límites de calidad del agua para el tratamiento mediante Filtración Directa				
Alternativa	Parámetros	90% del tiempo	80% del tiempo	Esporádicamente
Filtración Directa Descendente	Turbiedad (UNT)	25 - 30	< 20	< 50
	Color Verdadero UC	< 25		
	NMP de coliformes totales por 100mL	< 2,500		

	Concentración de algas (und./100mL)	< 200		
Filtración Directa Ascendente	Turbiedad (UNT)	< 100	< 50	< 200
	Color (UC)	< 60		< 100
Filtración Directa Ascendente Descendente	Turbiedad (UNT)	< 250	< 150	< 400
	Color (UC)	< 60		< 100

Fuente: Manual de CEPIS (55).

También se debe considerar los parámetros de la siguiente tabla.

Tabla 3. *Otros parámetros de calidad para el tratamiento mediante filtración directa.*

Cuadro 01-03 Otros parámetros de calidad importantes para tratamiento mediante Filtración Directa	
Parámetros	Valores Recomendados
Sólidos suspendidos (mg/L)	< 50
Carbono orgánico total (mg/L)	< 5
pH	5.5 - 6.5
Fósforo total (mg/L)	< 0.05
Nitrógeno total (mg/L)	< 5
Clorofila (µg /L)	< 10
Coliformes totales (colif./100)	< 2,500
Hierro (mg/L)	10
Manganeso (mg/L)	2

Fuente: Manual de CEPIS (55).

2.3.8.1. Clasificación por el tipo de tecnología utilizada

La utilización de tecnologías debe ir de acuerdo con los recursos económicos, recursos humanos y material que se encuentren disponibles, con la finalidad de realizar un adecuado tratamiento (55).

- De tecnología convencional clásica o antigua: en esta tecnología se usa decantadores rectangulares con flujo horizontal y en otras ocasiones se usa de vuela en U, por lo que ocupan grandes extensiones. Posteriormente se agregó equipos mecánicos para mejorar su optimización; hoy en día están compuestos por unidades hidráulicas y mecánicas.
- Convencionales de alta tasa o de tecnología CEPIS/OPS: en esta tecnología se requiere menor extensión que la tecnología convencional (de 25 % a 30 %). Los filtros son de tasa declinante y altura variable. Los filtros trabajan con velocidades decrecientes, entre lavado y lavado. Sus ventajas son: eficiencia, la operación y mantenimiento son de costos bajos.
- De tecnología patentada, normalmente importada de los países desarrollados: su sistema es mecanizado, está comprendido por decantadores, y en un equipo está integrada la mezcla rápida, floculación y decantación. Para su operación se requiere de personal calificado.

2.3.9. Procesos de PTAP - filtración rápida

El centro de operaciones es la responsable del manejo de las sustancias químicas que se utilizan en el tratamiento. Y está comprendida por almacenamiento, dosificación y laboratorios de control.

2.3.9.1. Unidad de regulación

- A) Descripción: los sistemas de almacenamiento sirven para suministrar agua para consumo poblacional a las redes de distribución, con la presión y cantidades necesarias para compensar la demanda. También debe contar con una cantidad adicional para casos de emergencia (incendio, suspensión temporal de la fuente de abastecimiento y paralización de la PTAP) (57).

- B) Diseño: la disposición de esta unidad es importante, cuando se tiene un flujo de agua que no es continuo, ya que la capacidad del reservorio va permitir regular el caudal que debe ingresar a la PTAP cuando el equipo de bombeo quede inactivo, y de esta manera mantener la PTAP operativa (57).

2.3.9.2. Unidad de pre sedimentación

- A) Descripción: la sedimentación se realiza por efecto gravitacional de las partículas que se encuentran suspendidas en el agua, al contar con un peso específico mayor al del fluido (58). El proceso de sedimentación y filtración son complementarios, ya que ambos cumplen la función de remoción de partículas en suspensión en el agua, la primera remueve partículas más densas, y la segunda remueve partículas menos densas como la del agua. La sedimentación ocurre en diferentes formas, dependiendo de las características de las partículas y su concentración, dichas formas son: de partículas discretas, partículas floculentas y partículas por caída libre.

- B) Diseño: para su diseño se debe tomar en consideración lo siguiente (59):

Área Superficial de la zona de sedimentación (A_S):

$$A_s = \frac{Q}{N \times V_s}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m³/s).

V_s: velocidad de sedimentación (m/s).

N: número de unidades de sedimentación (und).

Longitud de la zona de sedimentación (L₂):

$$L_2 = \frac{A_s}{B}$$

Donde:

A_s: área superficial de la zona de sedimentación (m²).

B: ancho del pre sedimentador (m).

Longitud total del pre sedimentador (L_T):

$$L_T = L_1 + L_2$$

Donde:

L₁: longitud de la estructura de entrada (m).

L₂: longitud de la zona de sedimentación (m).

Relación Largo/Ancho de la zona de sedimentación:

$$2 < \frac{L_T}{B} < 5$$

Donde:

L_T: longitud total de la zona de sedimentación (m).

B: ancho del pre sedimentador (m).

Relación Largo/Alto de la zona de sedimentación:

$$5 < \frac{L_T}{H} < 20$$

Donde:

L_T : longitud total de la zona de sedimentación (m).

H: altura del pre sedimentador (m).

Velocidad horizontal de flujo (v_H):

$$v_H = \frac{100 \times Q}{B \times H}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s).

B: ancho del pre sedimentador (m).

H: altura del pre sedimentador (m).

Tiempo de retención de la unidad (T_0):

$$T_0 = \frac{A_S \times H}{60 \times 60 \times Q}$$

Donde:

A_S : área superficial de la zona de sedimentación (m^2).

H: altura del pre sedimentador (m).

Q: caudal de diseño (m^3/s).

Altura máxima en la tolva de lodos (H_1):

$$H_1 = H + S \cdot L_2$$

Donde:

H: altura del pre sedimentador (m).

S: pendiente asumida en el fondo (%).

L_2 : longitud de la zona de sedimentación (m).

Altura de agua sobre el vertedero de Entrada/Salida (H_2):

$$H_2 = \left(\frac{Q}{1.84 \times L} \right)^{2/3}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s).

L: long. de la cresta del vertedero de entrada/salida (m).

Área total de orificios (A_0):

$$A_0 = \frac{Q}{v_0}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s).

v_0 : velocidad de paso a través de los orificios (m/s).

Área de cada orificio (a_0):

$$a_0 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Donde:

D: diámetro asumido de los orificios (m).

Número de orificios en la pantalla difusora (n):

$$n = \frac{A_0}{a_0}$$

Donde:

A_0 : área total de orificios (m^2).

a_0 : área de cada orificio (m^2).

Altura de la cortina cubierta de orificios (H_3):

$$H_3 = H - \frac{2}{5}.H$$

Donde:

H: altura del pre sedimentador (m).

Ancho de la cortina cubierta de orificios (B_1):

$$B_1 = B - \frac{2}{5}.B$$

Donde:

B: ancho del pre sedimentador (m).

Espaciamiento entre orificios de las filas (a):

$$a = \frac{H_3}{N_1 - 1}$$

Donde:

H_3 : Altura de la cortina cubierta de orificios (m).

N_1 : Número de filas de orificios (und).

Espaciamiento entre Orificios de las Columnas (b)

$$b = \frac{B_1}{N_2 - 1}$$

Donde:

B_1 : Ancho de la cortina cubierta de orificios (m).

N_2 : Número de columnas de orificios (und).

Espaciamiento lateral con respecto a la pared (a_1):

$$a_1 = \frac{B - b \cdot (N_2 - 1)}{2}$$

Donde:

B: Ancho del pre sedimentador (m).

b: Espaciamiento entre orificios de las columnas (m).

N_2 : Número de columnas de orificios (und).

Espaciamiento vertical con respecto a la pantalla (b_1):

$$b_1 = \frac{H}{5}$$

Donde:

H: Altura del pre sedimentador (m).

2.3.9.3. Unidad para sustancias químicas

A) Descripción de almacén: los productos químicos que se usa en la coagulación son tres:

- a) Coagulantes: los cuales son: sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato ferroso y férrico, y el cloro sulfato férrico.
- b) Modificadores de pH: se utilizan reactivos para regular la alcalinidad del agua.
- c) Ayudantes de coagulación: son polímeros que se encuentran en polvo y líquido.

Para construir la unidad de almacén se debe tomar en cuenta las sustancias a emplearse (polvo, trituradas o en solución), de manera que dicha unidad brinde las condiciones para su conservación y su manejo de sustancias (60):

- a) Productos secos: en cuanto a la dimensión de esta unidad dependerá de la dimensión de la PTAP, la capacidad y ubicación. Debe estar ubicado cerca de la sala de dosificación, para el traslado de las sustancias

químicas; cuando la PTAP es pequeño o mediano, el almacén y la sala de dosificación se encuentran en un mismo ambiente, pero si es grande ocupan la misma estructura con la diferencia de que el almacén se encuentre en el primer nivel, para evitar gastos económicos. Se debe tener cuidado en el almacenamiento de sustancias, ya que podrían reaccionar entre sí, como la cal viva y el sulfato de aluminio, en este caso es recomendable que dichas sustancias se encuentren en diferentes ambientes.

- b) Productos en solución: estos productos o sustancias se almacenan en cilindros, cubas, tanques o bidones, las cuales deben estar protegidos interiormente por la acción corrosiva que pueda originar el reactivo. El material de construcción de los almacenamientos puede ser de hormigón o acero. En caso de los tanques, estos cuentan con dispositivo de control de nivel.

B) Diseño de almacén: se debe realizar los siguientes cálculos (60):

Cálculo de la dosis promedio (D):

$$D = \frac{(D_M + D_m)}{2}$$

Donde:

D_M : dosis máxima corresponde a la máxima turbiedad (mg/L).

D_m : dosis mínima corresponde a la época de estiaje (mg/L).

Cálculo del volumen de almacenamiento (V):

$$V = \frac{D \times Q \times T}{\partial \times 1.000}$$

Donde:

D: dosis promedio (mg/L).

Q: caudal de diseño (m³/día).

T: días considerados para el almacenamiento (días).

∂: densidad del fluido líquido (kg/m³).

Cálculo del área neta de almacenamiento (A):

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

Donde:

V: volumen de almacenamiento (m³).

H: altura de la ruma (m).

Cálculo del largo de las pilas de los sacos (L):

$$L = \frac{A}{(B \times N)}$$

Donde:

A = área neta de almacenamiento (m²).

B = ancho de la ruma (m).

N = número de rumas (und).

Cálculo del ancho total del almacén (BT):

$$B_T = N \times B + 2e' + e(N-1)$$

Donde:

N: número de rumas (und).

B: ancho de la ruma (m).

e': separación entre ruma y pared (m).

e: separación entre rumas (m).

Cálculo del largo total del almacén (LT):

$$L_T = L + d' + d''$$

Donde:

L: largo de la fila (m).

d': separación entre filas y pared de ingreso almacenamiento (m).

d'': separación entre filas y paredes de los costados (m).

Cálculo del número de sacos requeridos (NS):

$$N_S = \frac{D \times Q \times T}{P_S \times 1.000}$$

Donde:

D: dosis promedio (mg/L).

Q: caudal de diseño (m³/día).

T: periodo de almacenamiento (días).

P_S: peso por saco (kg/saco).

Cálculo del número de sacos por ruma o fila (N_{SF}):

$$N_{SF} = \frac{N_S}{N}$$

Donde:

N_S: número de sacos requeridos (und).

N: número de rumas (und).

2.3.9.4. Unidad para dosificación

- A) Descripción de dosificador en solución (61): al usar sales inorgánicas como coagulante, lo hacen por dos mecanismos: 1) adsorción, induce la neutralización de la

carga y forma especies solubles hidrolizadas, mientras que 2) el barrido, causa las interacciones entre coloide y el hidróxido precipitado, arrastrando los coloides de la suspensión. La dosificación debe realizarse en dosis exactas por un tiempo determinado.

- B) Tipos de dosificadores (60): en la siguiente tabla se muestra los dosificadores de sustancias químicas.

Tabla 4. *Tipo de dosificadores de sustancias químicas.*

Cuadro 02-01 Dosificadores de Sustancias Químicas		
Condición de Dosificación	Tipos	Clasificación
Seco	Volumétricos	Plato, garganta, cilindro, tornillo, estrella, correa.
	Gravimétricos	Correa transportadora y pérdida de peso.
Solución	Gravedad	Orificio de carga constante, regulable o torre de saturación.
	Bombeo	Desplazamiento rotatorio o positivo.
	Boquillas	
Gas	Solución al vacío	
	Aplicación directa	

Fuente: Manual de CEPIS (60).

- a) Equipos de dosificación en seco: se utiliza para sustancias químicas en polvo, según la tabla siguiente, pueden ser volumétrico o gravimétrico. Para optar qué tipo de dosificador utilizar, se debe considerar el tipo de sustancia, el rango de trabajo, lo cual depende de la dosis máxima (D_M) y mínima (D_m) y el caudal a tratar.
- b) Equipos de dosificación en solución: los tipos de equipos son por bombeo y por gravedad, y la graduación de la cantidad a emplear se realiza con el coagulante en solución.

C) Dimensionamiento de los sistemas de dosificación (60): para el diseño de debe considerar el tipo de coagulante, el agua a tratar, entre otras características.

a) Sistemas de dosificación en seco: para determinar los equipos de dosificación se toma en cuenta los valores máximos y mínimos de dosificación que se aplicará, lo cual se determina en un estudio de laboratorio, evaluando la dosis óptima y la turbiedad del efluente.

Tabla 5. *Tipos de dosificadores en seco.*

Cuadro 02-02				
Dosificadores en Seco				
Tipo	Clasificación	Uso	Capacidad pies/hora	Variación
Volumétricos	Plato oscilante	Cualquier material granular o en polvo.	0.01 - 35	1 - 40
	Garganta oscilante	Cualquier material, tamaño variado.	0.02 - 100	1 - 40
	Disco rotatorio	Mayoría de materiales en forma granular o en polvo.	0.01 - 1	1 - 20
	Cilindro rotatorio	Cualquier material granular o en polvo.	7 - 300 y 8 - 2,000	1 - 100 y 1 - 10
	Tornillo	Material muy seco, en forma granular o en polvo.	0.05 - 18	1 - 20
	Cinta	Material seco, en forma granular o en polvo, con un tamaño máximo de 1½".	0.1 - 3,000	1 - 10 y 1 - 100
Gravimétricos	Cinta y balanza	Material seco o húmedo en forma granular o en polvo (deben usarse agitadores para mantener una densidad constante).	0.02 - 2	1 - 100
	Pérdida de peso	Mayoría de materiales en forma granular o en polvo.	0.02 - 80	1 - 100

Fuente: Manual de CEPIS (60).

Estos dosificadores son de alto costo, y es importante realizar la calibración con frecuencia, mayormente son usados en ciudades desarrolladas donde el fluido eléctrico es continuo, y el personal capacitado para realizar una adecuada operación y mantenimiento. Se recomienda no usarlo o emplearlo cuando se dispone de un caudal menor a 20 L/s.

- b) Sistemas de dosificación en solución: se considera dos unidades, una en operación y otra en preparación, para que la dosificación sea continua. Para el diseño del tanque de solución se debe considerar el volumen para el turno de operación (T), teniendo en cuenta que cada turno dura 8 horas. El diseño de las tuberías de solución debe ser para un caudal máximo, teniendo en cuenta la dosis máxima (DM) y el tipo de la sustancia química que se va a usar, el material de tubería puede ser de plástico o de acero inoxidable.
- c) Sistema de saturación de cal: al usar este sistema se produce una solución saturada de hidróxido de calcio, disminuyendo la cantidad de sólidos insolubles en suspensión, y no se incrementa la turbiedad del agua filtrada. Este saturador cuenta con un tanque y el fondo es de forma cónica o piramidal, el agua ingresa por el fondo del tanque, por medio de un tubo recto que se encuentra instalada en el interior del tanque, lo cual disolverá la cal que se encuentra depositada. La dosificación va ser graduada dependiendo del caudal de agua que ingresa en el saturador y la concentración de cal, por ello se recomienda emplear un hidrómetro en la entrada de agua a la unidad, para medir el caudal y la cantidad de cal disponible en el saturador. Si la cantidad de cal disponible es pequeña, la solución tendrá baja concentración, por lo que se debería aumentar la cantidad de agua y agregar mayor cantidad de cal.

D) Diseño de dosificador en solución (60):

Cálculo del caudal de solución promedio (q):

$$q = \frac{Q \times D}{C}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m³/día).

D: dosis promedio (mg/L).

C: concentración del coagulante (mg/L).

Cálculo del volumen del tanque de solución (V):

$$V = q \times \frac{T_0}{24}$$

Donde:

q: caudal de solución promedio (m³/día).

T₀: intervalo de tiempo (horas).

Consumo promedio diario de coagulante (P):

$$P = Q \times D$$

Donde:

Q: caudal de diseño (L/s).

D: dosis promedio (mg/L).

Consumo de coagulante por tanque de solución (P₀)

$$P_0 = P \times \frac{T_0}{24}$$

Donde:

P: promedio diario de coagulante (kg/día).

T₀: intervalo de tiempo (horas).

Caudal máximo dosificado (q_M):

$$q_M = Q \times \frac{D_M}{C}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (L/s).

D_M : dosis máxima (mg/L).

C: concentración del coagulante (mg/L).

Caudal mínimo dosificado (q_m):

$$q_m = Q \times \frac{D_m}{C}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (L/s).

D_m : dosis mínima (mg/L).

C: concentración del coagulante (mg/L).

Rango del dosificador (R)

$$R = q_M - q_m$$

Donde:

q_M : caudal máximo dosificado (L/h).

q_m : caudal mínimo dosificado (L/h).

Lado del tanque de solución (a)

$$a = \left(\frac{V}{h_u} \right)^{0.5}$$

Donde:

V: volumen del tanque de solución (m^3).

h_u : altura útil de agua (m).

Altura total (ht):

$$h_t = h_u + h_l$$

Donde:

h_u : altura útil de agua (m).

h_l : altura de borde libre (m).

Número de sacos por tanque de solución (N_b):

$$N_b = \frac{P_0}{P_b}$$

Donde:

P_0 : consumo de coagulante por tanque de solución (kg).

P_b : contenido de un saco de reactivo (kg).

2.3.9.5. Unidad de mezcla rápida

A) Descripción de la unidad de mezcla rápida tipo vertedero rectangular con cambio de pendiente: en esta unidad se realiza la dosificación, en el cual el agua a tratar se mezcla durante un tiempo con el coagulante, lo cual debe ser homogénea para desestabilizar a las partículas presentes en el agua. La coagulación es muy importante en este tipo de plantas de filtración rápida, ya que la eficiencia o buen funcionamiento del tratamiento depende de ella (62).

B) Tipos de mezcladores (62):

a) Hidráulicas:

- ❖ Canales con cambio de pendiente o rampas: es usada cuando el agua contiene alta concentración de coloides, ya que el tiempo de coagulación es mayor. También ayudan como unidad de medición de caudal y como mezcla rápida.
- ❖ Canaletas Parshall: se usa para medir el caudal y como mezcla rápida, asimismo se origina el resalto.

- ❖ Vertederos rectangulares: como su nombre lo indica, presenta un vertedero rectangular y un canal rectangular.
 - ❖ Vertederos triangulares: presenta un canal rectangular y un vertedero de 90° ubicado a una altura (P) medida desde el vértice del vertedero al fondo del canal, es recomendado su uso para caudales pequeños.
 - ❖ Difusores: es recomendado cuando se tiene un canal de mezcla profunda y cuando no se tiene mucha carga disponible. Es eficiente cuando se aplica el coagulante en toda la sección, y la altura del agua en el punto de mezcla es mayor. Ahora si aplicamos el coagulante un solo punto, a una determinada distancia (L) recién se efectuará la mezcla y ello conllevará un tiempo (T).
 - ❖ Inyectores: la mezcla entre el coagulante y el agua a tratar es más rápida o inmediata; se debe tomar en cuenta la velocidad y número de chorros.
- b) Mecánicas: su eficiencia es mejor cuando se usa los agitadores de tipo turbina, la cual se clasifica en dos tipos de movimientos que producen, flujo axial y flujo radial. Para saber qué potencia aplicar, se debe considerar el volumen, la forma de la cámara de mezcla, velocidad de rotación y geometría del impulsor. Si el agua a tratar es clara y coagula por el mecanismo de barrido, ésta es la mejor opción.
- C) Diseño de unidad de mezcla rápida tipo vertedero rectangular con cambio de pendiente (62):

Cálculo de caudal unitario (q):

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

Donde:

Q: caudal de diseño (m³/s).

B: ancho del vertedero (m).

Cálculo de la pendiente del plano inclinado (θ):

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{E_0}{X}\right)$$

Donde:

E₀: altura de la caída de agua (m).

X: longitud del plano (m).

Cálculo de factor de resolución de la ecuación: se asume un número de Froud comprendido entre los valores 4.5 - 9, se halla la relación de alturas antes y después del resalto:

$$K = \cos \theta \cdot \left(F_1 + \frac{\cos \theta}{2 \cdot F_1} \right)$$

$$\emptyset = \cos^{-1} \left[\frac{F_1^2}{\left(\frac{2}{3} \cdot F_1 \cdot K \right)^{3/2}} \right]$$

$$a = \sqrt{\frac{8 \cdot F_1 \cdot K}{3}} \cdot \cos\left(\frac{\emptyset}{3}\right)$$

Donde:

K: factor de resolución de la ecuación (adimensional).

\emptyset : factor de resolución de la ecuación (radianes y sexagesimales).

a: relación de alturas antes y después del resalto (adimensional).

Altura antes del resalto (d_1):

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{F_1^2 \cdot g}}$$

Donde:

q : caudal unitario ($m^3/s/m$).

F_1 : número de Froud asumido (adimensional).

g : aceleración de la gravedad (m/s^2).

Profundidad antes del resalto (h_1):

$$h_1 = \frac{d_1}{\cos \theta}$$

Donde:

d_1 : altura antes del resalto (m).

θ : pendiente del plano inclinado (radianes o sexagesimales).

Velocidad al inicio del resalto (V_1):

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

Donde:

q : caudal unitario (m^3/s).

h_1 : profundidad antes del resalto (m).

Comprobación de número de Froud (F):

$$F = \frac{V_1}{\sqrt{h_1 \cdot g}}$$

Donde:

V_1 : velocidad al inicio del resalto (m/s).

h_1 : profundidad antes del resalto (m).

g: aceleración de la gravedad (m/s^2).

Profundidad después del resalto (h_2):

$$h_2 = d_2 = a \times d_1$$

Donde:

d_1 : altura antes del resalto (m).

a: relación de alturas antes y después del resalto (adimensional).

Longitud del resalto (L):

$$L = 6 \cdot (h_2 - h_1)$$

Donde:

h_2 : profundidad después del resalto (m).

h_1 : profundidad antes del resalto (m).

Pérdida de carga (h_p):

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

Donde:

h_2 : profundidad después del resalto (m).

h_1 : profundidad antes del resalto (m).

Volumen del resalto (V_R):

$$V_R = \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) \times L \times B$$

Donde:

h_1 : profundidad antes del resalto (m).

h_2 : profundidad después del resalto (m).

L: longitud del resalto (m).

B: ancho del vertedero (m).

Gradiente de velocidad (G):

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{Q \times h_p}{V_R}}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m³/s).

h_p: pérdida de carga (m).

V_R: volumen del resalto (m³).

γ: peso específico del agua (1.000 kg/m³).

μ: coeficiente de viscosidad absoluta.

Tiempo de mezcla (T):

$$T = \frac{V_R}{Q}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m³/s).

V_R: volumen del resalto (m³).

Altura de agua en el vertedero (h₃):

$$Q = 1.84 \times B \times h_3^{1.5}$$

$$h_3 = \left(\frac{Q}{1.84 \times B} \right)^{2/3}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m³/s).

B: ancho del vertedero (m).

Comprobación de la fórmula:

$$E_0 + h_3 = h_2 + h_p$$

Donde:

E_0 : altura de la caída de agua (m).

h_3 : altura de agua en el vertedero (m).

h_2 : profundidad después del resalto (m).

h_p : pérdida de carga (m).

2.3.9.6. Unidad para difusor

A) Descripción (63): esta unidad tiene la finalidad de alcanzar mayor dispersión y mezcla del coagulante. La mezcla está relacionada con la turbulencia, por ello es importante relacionar las variaciones de la concentración con la velocidad.

B) Diseño (62):

Número de orificios (N):

$$N = \frac{B}{e}$$

Donde:

e: espaciamiento entre orificios (m).

B: ancho del vertedero (m).

Sección de orificios (A_0)

$$A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$$

Donde:

d_0 : diámetro de los orificios (m).

Caudal promedio de solución por aplicar (q'):

$$q' = \frac{Q \times D}{C}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (L/s).

D: dosis promedio (mg/L).

C: concentración del coagulante (mg/L).

Velocidad en los orificios (u_0):

$$u_0 = \frac{q'}{A_0 \times N}$$

Donde:

q' : caudal promedio de solución por aplicar (m^3/s).

A_0 : sección de orificios (m^2).

N: número de orificios (adimensional).

Velocidad en la tubería (u_t):

$$u_t = \frac{u_0}{R}$$

Donde:

u_0 : velocidad en los orificios (m/s).

R: constante de relación de velocidades (adimensional).

Sección de la tubería difusora (A_t):

$$A_t = \frac{q'}{u_t}$$

Donde:

q' : caudal promedio de solución (m^3/s).

u_t : velocidad en los orificios (m/s).

Diámetro de la tubería difusora (D_t):

$$D_t = \sqrt{\frac{4 \times A_t}{\pi}}$$

Donde:

A_t : sección de la tubería difusora (m^2).

2.3.9.7. Unidad de floculación:

A) Descripción: la floculación se da por tres maneras (64):

- 1) Floculación browniana o pericinética, está inducido por la energía térmica, lo importante de este movimiento es que las partículas entren en contacto y de esta manera se van juntando y crecen hasta 1 micra
- 2) Floculación ortocinética o gradiente de velocidad, actúa cuando el micro-flóculo alcanza a el tamaño de 1 micra, esta forma de aglomeración se basa en la colisión de partículas con el movimiento del agua, el cual está relacionada con el gradiente de velocidad.
- 3) Sedimentación diferencial, se considera que, en las masas de agua, los flocs que van a ir descendiendo entran en contacto con otro flocs, y de esta manera se incrementa el tamaño y podrán sedimentarse.

La unidad de floculador está integrada por pantallas, las cuales son económicas y eficientes, ya que no hace uso de energía eléctrica para su funcionamiento, cabe indicar que esta unidad cuenta con compartimiento o canales, en donde el tiempo de retención teórico y el normal son iguales, anulando de esta manera la posibilidad de originarse espacios muertos o cortocircuito (65).

- a) Unidad de flujo horizontal: el flujo del agua transcurre por los bordes de los canales, las cuales se formaron por las pantallas. Su uso se recomienda para plantas de pequeñas a medianas, tengan la capacidad menor a 50 L/s. En esta unidad se trabaja con flujo de pistón, lo cual ayuda a ajustar el tiempo de retención. En caso de las pantallas, pueden ser fijas o removibles, de material fibra de vidrio, madera, plástico, cemento u otro material que no contamine el agua a tratar. Para elegir el material de las pantallas, dependerá del tamaño de la planta, el costo y recursos. El tamaño de las pantallas variará de 1m a 2m dependiendo su material.
- b) Unidad de flujo vertical: el flujo en esta unidad sube y baja por los canales formados por las pantallas, es recomendable su uso para planta de medianas a grandes que cuenta con una capacidad mayor a 50 L/s, ya que ocupa menor espacio debido a su profundidad, la cual varía de 3m a 4m. El material de las pantallas puede ser de fibra de vidrio, concreto prefabricado, madera o de asbesto - cemento. En los canales, el gradiente de velocidad debe ser mayor a 20 s. Para prevenir la aglomeración de lodos y descargar el tanque, se debe contar con una brecha, que sea equivalente al 5 % del área horizontal de cada compartimiento de cada pantalla. La ventaja de usar pantallas, es que estas se pueden autorregularse cuando hay una variación de caudal, es decir, si el caudal disminuye, también disminuye el gradiente de velocidad, por lo que, el tiempo de retención aumenta; y si el caudal aumenta, el efecto es el inverso. Pero se debe tomar en cuenta que, si el gradiente de velocidad aumenta demasiado puede llegar a romper los flóculos.

B) Diseño (65):

Cálculo del volumen total de la unidad (V):

$$V = 60 \times Q \times T$$

Donde:

Q: caudal de diseño (L/s).

T: tiempo total de floculación (min).

Cálculo del ancho total de la unidad (B):

$$B = \frac{V}{H \times L}$$

Donde:

V: volumen total de la unidad (m³).

H: profundidad del floculador (m).

L: longitud de la unidad (m).

Cálculo del tiempo de retención en los canales (t_i):

$$t_i = \frac{H \times L \times b_i}{60 \times Q}$$

Donde:

H: profundidad del floculador (m).

L: longitud de la unidad (m).

b_i: ancho del canal (m).

Q: caudal de diseño (m³/s).

Cálculo del número de compartimientos entre pantallas (m_i):

$$m_i = 0.045 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{b_i \cdot L \cdot G_i}{Q}\right)^2 \cdot t_i}$$

Donde:

G_i: gradientes de velocidad asumidos (s⁻¹).

L: longitud de la unidad (m).

b_i: ancho del canal (m).

t_i: tiempo de retención (min).

Q: caudal de diseño (m³/s).

Cálculo del espaciamiento entre pantallas (a_i):

$$a_i = \frac{L - e_i \cdot (m_i - 1)}{m_i}$$

Donde:

L: longitud de la unidad (m).

e_i: espesor de las pantallas (m).

m_i: número de compartimientos entre pantallas (adimensional).

Cálculo de la velocidad en los canales (v_{1i}):

$$v_{1i} = \frac{Q}{a_i \times b_i}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m³/s).

a: espaciamiento entre pantallas (m).

b_i: ancho del canal (m).

Cálculo de la velocidad en los pasajes (v_{2i}):

$$v_{2i} = \frac{2}{3} \cdot v_{1i}$$

Donde:

v_{1i}: velocidad en los canales (m/s).

Cálculo de la extensión total del canal (L_i):

$$L_i = 60 \times v_{1i} \times t_i$$

Donde:

v_{1i} : velocidad en los canales (m/s).

t_i : tiempo de retención en el canal (min).

Cálculo Radio Hidráulico del Compartimiento entre Pantallas (R_{Hi}):

$$R_{Hi} = \frac{a_i \times b_i}{2 \cdot (a_i + b_i)}$$

Donde:

a_i : espaciamiento entre pantallas (m).

b_i : ancho del canal (m).

Cálculo de la pérdida de carga continua entre los canales (h_{1i}):

$$h_{1i} = \left(\frac{n \times v_{1i}}{R_{Hi}^{2/3}} \right)^2 \times L_i$$

Donde:

v_{1i} : velocidad en los canales (m/s).

L_i : longitud de la unidad (m).

R_{Hi} : radio hidráulico del compartimiento entre pantallas (m).

n : coeficiente de la fórmula de Manning (0.012).

Cálculo de la pérdida de carga en las vueltas (h_{2i}):

$$h_{2i} = \frac{(m_i + 1) \times v_{1i}^2 + m_i \times v_{2i}^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

m_i : número de compartimientos entre pantallas (adimensional).

v_{1i} : velocidad en los canales (m/s).

v_{2i} : velocidad en los pasajes (m/s).

g : aceleración de la gravedad (m/s^2).

Cálculo de la pérdida de carga total en un tramo (h_{fi}):

$$h_{fi} = h_{1i} + h_{2i}$$

Donde:

h_{1i} : pérdida de carga en los canales (m).

h_{2i} : pérdida de carga en las vueltas (m).

Cálculo del volumen del tramo de floculador (V_i):

$$V_i = H \times b_i \times L - e_i \times (m_i - 1)$$

Donde:

H : profundidad del floculador (m).

b_i : ancho del canal (m).

m_i : número de compartimientos entre pantallas (adimensional).

L : longitud de la unidad (m).

e_i : espesor de las pantallas (m).

Cálculo de la comprobación de la gradiente de velocidad en los canales (G_{1i}):

$$G_{1i} = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{Q \times h_{fi}}{V_i}}$$

Donde:

h_{fi} : pérdida de carga total en el tramo (m).

Q: caudal de diseño (m^3/s).

V_i : volumen del tramo (m^3).

Cálculo de la comprobación de la gradiente de velocidad en el canal vertical (G_{2i}):

$$G_{2i} = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{1}{2 \cdot g}} \times \sqrt{\frac{f}{4 \cdot R_{Hi}}} \times v_{1i}^{3/2}$$

Donde:

f : coeficiente de Darcy (0.03).

g : aceleración de la gravedad (m/s^2).

R_{Hi} : radio hidráulico del compartimiento entre pantallas (m).

v_{1i} : velocidad en los canales (m/s).

2.3.9.8. Unidad de decantación

A) Descripción: en esta unidad ocurre la separación de partículas sólidas y el agua, y se realiza por gravedad, ya que las partículas empiezan a decantar al fondo de la unidad, debido a esta acción el agua empieza a clarificarse. (58). Esta unidad está compuesta por las siguientes estructuras: entrada, salida, almacenamiento y extracción de lodos. Su eficiencia está relacionada con el comportamiento hidráulico de esta unidad (66).

- Zona de entrada: sirve para distribuir el agua floculada a los módulos de placas, a través de un canal o tubería. Se puede diseñar en secciones variables, es decir, el ancho puede ser constante y la profundidad variable o viceversa. Si se cuenta con una planta grande, es

preferible que el ancho sea constante y que la profundidad sea de mayor dimensión, ya que se aprovechará la fosa que se realizará en la construcción de la unidad.

- Zona de sedimentación: se instala pantallas paralelas, el material pueden ser lonas (vinilos), fibra de vidrio, planchas de asbesto-cemento, entre otros. Para su diseño es necesario realizar pruebas en laboratorio, donde las muestras sean tomadas en épocas lluviosas, ya que en esta época es la más crítica. Las pantallas de lonas deben ubicarse de tal manera que forme un ángulo de 60° con el plano horizontal. En cuanto al uso de láminas de asbesto-cemento de 6 mm y de largo 2.40m se pandean cuando forman el ángulo de 60° , por lo que se utiliza separadores al centro de la lámina.
- Zona de salida: se recolecta el agua decantada por la parte superior de la estructura, mediante canales, tuberías perforadas o vertederos triangulares. En caso de usar vertederos, estas no deben ser fijas de bordes lisos, porque la cantidad del agua extraída puede variar considerablemente.
- Zona de lodos: está constituida por tolvas de almacenamiento y evacuación de lodos, mediante colector múltiple y sifones. La capacidad de almacenamiento de las tolvas depende de la producción diaria de lodos. Usualmente el tiempo de almacenamiento es de un día, pero en épocas de lluvias la frecuencia de descarga se programa cada 4 horas. Al instalar las tolvas se debe tomar en cuenta que, estas deben estar ubicadas entre 45° y 60° .

B) Diseño:

B.1. Zona de decantación:

Distancia perpendicular entre placas (d) - (cm):

$$d = e' \cdot \sin \vartheta - e$$

Donde:

e': separación entre placas horizontales (cm).

e: espesor de las placas - vinilo (cm).

ϑ : ángulo de inclinación (grados sexagesimales).

Longitud útil de las placas (l_U) - (cm):

$$l_U = 100 \cdot l - e' \cdot \cos \vartheta$$

Donde:

l: longitud del módulo de placas (m).

e': separación entre placas horizontales (cm).

ϑ : ángulo de inclinación (grados sexagesimales).

Longitud relativa de las placas (L):

$$L = \frac{l_U}{d}$$

Donde:

l_U : longitud útil de las placas (cm).

d: distancia perpendicular entre placas (cm).

Factor de cálculo (f):

$$f = \frac{\sin \vartheta \cdot (\sin \vartheta + L \cdot \cos \vartheta)}{s}$$

Donde:

L: longitud relativa de las placas (adimensional).

ϑ : ángulo de inclinación (grados sexagesimales).

s: módulo de eficiencia de las placas (1).

Caudal de diseño por decantador (Q_D) - (m^3/s):

$$Q_D = \frac{Q}{N}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s).

N: número de decantadores (unidad).

Área superficial de la unidad (A_S) - (m^2):

$$A_S = \frac{Q_D}{f \cdot v_s}$$

Donde:

Q_D : caudal de diseño por decantador (m^3/s).

v_s : velocidad de sedimentación (m/s).

f : factor de cálculo (adimensional).

Número de canales formados por las placas (N_C):

$$N_C = \frac{100 \cdot A_S \cdot \sin \vartheta}{B \cdot d}$$

Donde:

A_S : área superficial de la unidad (m^2).

ϑ : ángulo de inclinación (grados sexagesimales).

B: ancho total de la zona de decantación (m).

d: distancia perpendicular entre placas (cm).

Longitud total del decantador (L_T) - (m):

$$L_T = l \cdot \cos \vartheta + \frac{N \cdot d + (N + 1) \cdot e}{100 \cdot \sin \vartheta}$$

Donde:

l: longitud del módulo de placas (m).

ϑ : ángulo de inclinación (grados sexagesimales).

N: número de canales formados por las placas (unidad).

d: distancia perpendicular entre placas (cm).

e: espesor de las placas - vinilo (cm).

Velocidad media del flujo (v_O) - (cm/s):

$$v_O = \frac{100 \cdot Q_D}{A_S \cdot \sin \vartheta}$$

Donde:

Q_D : caudal de diseño del decantador (m^3/s).

A_S : área superficial de la unidad (m^2).

ϑ : ángulo de inclinación (grados sexagesimales).

Radio hidráulico del módulo de placas (R_H) - (cm):

$$R_H = \frac{100 \cdot b \cdot d}{2 \cdot (100 \cdot b + d)}$$

Donde:

b: ancho del módulo de placas (m).

d: distancia perpendicular entre placas (cm).

Número de Reynolds (NR):

$$N_R = \frac{4 \cdot R_H \cdot v_O}{\nu}$$

Donde:

R_H : radio hidráulico del módulo de placas (cm).

v_O : velocidad media del flujo (cm/s).

ν : viscosidad (cm^2/s).

Velocidad longitudinal máxima ($v_{O'}$) - (cm/s):

$$v_{O'} = 100 \cdot \left(\frac{N_R}{8} \right)^{0.5} \cdot v_S$$

Donde:

N_R : número de Reynolds (adimensional).

v_S : velocidad de sedimentación (m/s).

B.2. Zona de entrada:

Caudal del canal central durante el mantenimiento de una unidad de decantación (Q_C) - (m³/s):

$$Q_C = \left(\frac{1}{N-1} + 1 \right) \cdot Q_D$$

Donde:

Q_D : caudal de diseño del decantador (m³/s).

N : número de decantadores (unidad).

Caudal de la mitad del canal central (Q_U) - (m³/s):

$$Q_U = \frac{Q_C}{2}$$

Donde:

Q_C : caudal de canal central - 01 en mantenimiento (m³/s).

Área total de orificios (A_T) - (m²):

$$A_T = \frac{Q_U}{v_L}$$

Donde:

Q_U : caudal de la mitad del canal central (m³/s).

v_L : velocidad lateral en los orificios (m/s).

Número de orificios a cada lado del canal central (N_O):

$$N_O = \frac{L_T - 2.D}{a} + 1$$

Donde:

L_T : longitud del decantador o longitud del canal central (m).

D : distancia entre la pared y primer orificio (m).

a : separación entre orificios (m).

Área de cada orificio (A_L) - (m^2):

$$A_L = \frac{A_T}{N_O}$$

Donde:

A_T : área total de orificios (m^2).

N_O : número de orificios a cada lado del canal central.

Diámetro de cada orificio (d) - (pulg):

$$d = \left(\frac{100}{2.54} \right) \cdot \left(\frac{4 \cdot A_L}{\pi} \right)^{0.5}$$

Donde:

A_L : área de cada orificio (m^2).

Sección en el extremo final del canal (A_F) - (m^2):

$$A_F = B \cdot h$$

Donde:

B : ancho de canal (m).

h : altura mínima del canal (m).

Caudal por orificio (q_o) - (m^3/s)

$$q_o = \frac{Q_U}{N_o}$$

Donde:

Q_U : caudal de la mitad del canal central (m^3/s).

N_o : número de orificios a cada lado del canal central.

Caudal al extremo final del canal (Q_F) - (m^3/s):

$$Q_F = 2 \cdot q_o$$

Donde:

q_o : caudal por orificio (m^3/s).

Velocidad en el extremo final del canal (v_F) - (m/s):

$$v_F = \frac{Q_F}{A_F}$$

Donde:

Q_F : caudal al extremo final del canal (m^3/s).

A_F : sección en el extremo final del canal (m^2).

Sección en el extremo inicial del canal (A_C) - (m^2):

$$A_C = B \cdot H$$

Donde:

B : ancho de canal (m).

H : altura máxima del canal (m).

Velocidad en el extremo inicial del canal (v_C) - (m/s):

$$v_C = \frac{Q_C}{A_C}$$

Donde:

Q_C : caudal de canal central - 01 en mantenimiento (m³/s).

A_C : sección en el extremo inicial del canal (m²).

Coeficiente de pérdida de carga total en el primer orificio del canal (β_1):

$$\beta_1 = 1 + \delta + \varnothing \cdot \left(\frac{v_C}{v_L} \right)^2$$

Donde:

δ : coeficiente experimental de Hudson (adimensional).

\varnothing : coeficiente experimental de Hudson (adimensional).

v_C : velocidad en el extremo inicial del canal (m/s).

v_L : velocidad lateral en los orificios (m/s).

Coeficiente de pérdida de carga total en el último orificio del canal (β_N):

$$\beta_N = 1 + \delta + \varnothing \cdot \left(\frac{v_F}{v_L} \right)^2$$

Donde:

δ : coeficiente experimental de Hudson (adimensional).

\varnothing : coeficiente experimental de Hudson (adimensional).

v_F : velocidad en el extremo final del canal (m/s).

v_L : velocidad lateral en los orificios (m/s).

Velocidad real en el primer orificio (v_{L1}) - (m/s): para el cálculo de las velocidades reales en cada uno de los orificios del canal central, se utiliza la siguiente relación:

$$v_{L1} = \frac{Q_U}{A_L \cdot \sqrt{\beta_1} \cdot \sum_1^N \sqrt{\frac{1}{\beta_i}}}$$

Donde:

Q_U : caudal de la mitad del canal central (m^3/s).

A_L : área de cada orificio (m^2).

Velocidad real en el último orificio (v_{LN}) - (m/s): para el cálculo de las velocidades reales en cada uno de los orificios del canal central, se utiliza la siguiente relación:

$$v_{LN} = \frac{Q_U}{A_L \cdot \sqrt{\beta_N} \cdot \sum_1^N \sqrt{\frac{1}{\beta_i}}}$$

Donde:

Q_U : caudal de la mitad del canal central (m^3/s).

A_L : área de cada orificio (m^2).

Cálculo del error entre las velocidades reales del primer y último orificio (Δ) - (%):

$$\Delta = \frac{|v_{LN} - v_{L1}|}{\text{MIN} [v_{LN} : v_{L1}]}$$

Donde:

v_{L1} : velocidad real en el primer orificio (m/s).

v_{LN} : velocidad real en el último orificio (m/s).

Radio hidráulico entre orificios (R_H) - (m):

$$R_H = \left(\frac{2.54}{100} \right) \cdot \left(\frac{d}{4} \right)$$

Donde:

d : diámetro de cada Orificio (pulg).

Gradiente de velocidad en los orificios (G) - (s⁻¹):

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{1}{2 \cdot g}} \times \sqrt{\frac{f}{4 \cdot R_H}} \times v_L^{3/2}$$

Donde:

g: aceleración de la gravedad (m/s²).

R_H: radio Hidráulico entre orificios (m).

v_L: velocidad lateral en los orificios (m/s).

f: coeficiente de Darcy (0.020).

B.3. Canal de distribución de agua floculada:

Caudal de ingreso a cada decantador (q) - (m³/s):

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

Donde:

Q: caudal de diseño (m³/s).

N: número de decantadores (unidad).

Sección final del canal de agua floculada (A_F) - (m²):

$$A_F = B \cdot H_F$$

Donde:

B: ancho del canal (m).

H_F: altura mínima y final del canal (m).

Velocidad en la sección final del canal (V_F) - (m/s):

$$v_F = \frac{q}{A_F}$$

Donde:

q: caudal de ingreso a cada decantador (m³/s).

A_F: sección final del canal de agua floculada (m²).

Sección inicial del canal de agua floculada (A_I) - (m²):

$$A_I = \frac{Q}{v_I}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m³/s).

v_I: velocidad en la sección inicial del canal (m/s).

Altura máxima e inicial del canal (H_I) - (m):

$$H_I = \frac{A_I}{B}$$

Donde:

A_I: sección inicial del canal de agua floculada (m²).

B: ancho del canal (m).

Sección útil de las compuertas (A_L) - (m²):

$$A_L = \frac{q}{v_L}$$

Donde:

q: caudal de ingreso a cada decantador (m³/s).

v_L: velocidad lateral en las compuertas (m/s).

Ancho de las compuertas (b) - (m):

$$b = \frac{A_L}{h}$$

Donde:

A_L: sección útil de las compuertas (m²).

h: altura de la sección útil (m).

Coeficiente de pérdida de carga total en la primera compuerta (β_1):

$$\beta_1 = 1 + \delta + \phi \cdot \left(\frac{v_1}{v_L}\right)^2$$

Donde:

δ : coeficiente experimental de Hudson (adimensional).

ϕ : coeficiente experimental de Hudson (adimensional).

v_1 : velocidad en la sección inicial del canal (m/s).

v_L : velocidad lateral en las compuertas (m/s).

Coeficiente de pérdida de carga total en la última compuerta (β_N):

$$\beta_N = 1 + \delta + \phi \cdot \left(\frac{v_F}{v_L}\right)^2$$

Donde:

δ : coeficiente experimental de Hudson (adimensional).

ϕ : coeficiente experimental de Hudson (adimensional).

v_F : velocidad en la sección final del canal (m/s).

v_L : velocidad lateral en las compuertas (m/s).

Velocidad real en la primera compuerta (v_{L1}) - (m/s):
para el cálculo de las velocidades reales en cada una de las compuertas, se utiliza la siguiente relación:

$$v_{L1} = \frac{Q}{A_L \cdot \sqrt{\beta_1} \cdot \sum_1^N \sqrt{\frac{1}{\beta_i}}}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m³/s).

A_L : sección útil de las compuertas (m²).

Velocidad real en la última compuerta (v_{LN}) - (m/s):
para el cálculo de las velocidades reales en cada una de las compuertas, se utiliza la siguiente relación:

$$v_{LN} = \frac{Q}{A_L \cdot \sqrt{\beta_N} \cdot \sum_1^N \sqrt{\frac{1}{\beta_i}}}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s).

A_L : sección útil de las compuertas (m^2).

Cálculo del error entre las velocidades reales de la primera y última compuerta (Δ) - (%):

$$\Delta = \frac{|v_{LN} - v_{L1}|}{\text{MIN} [v_{LN} : v_{L1}]}$$

Donde:

v_{L1} : velocidad real en la primera compuerta (m/s).

v_{LN} : velocidad real en la última compuerta (m/s).

Pérdida de carga en las compuertas (h_f) - (m)

$$h_f = \frac{\beta_N \cdot v_{LN}^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

v_{LN} : velocidad real en la última compuerta (m/s).

g: aceleración de la gravedad (m/s^2).

Radio hidráulico de las compuertas laterales (R_H) - (m):

$$R_H = \frac{b \cdot h}{2 \cdot (b + h)}$$

Donde:

b: Ancho de las compuertas (m).

h: Altura de la sección útil (m).

Gradiente de velocidad en las compuertas (G) - (s⁻¹):

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \sqrt{\frac{1}{2 \cdot g}} \times \sqrt{\frac{f}{4 \cdot R_H}} \times v_L^{3/2}$$

Donde:

g: aceleración de la gravedad (m/s²).

R_H: radio Hidráulico de las compuertas (m).

v_L: velocidad lateral en las compuertas (m/s).

f: coeficiente de Darcy (0.020).

B.4. Zona de lodos - colector múltiple de tolvas separadas:

Longitud de la base mayor de cada tolva (x)

$$l = \frac{L_T}{N_T}$$

Donde:

L_T: longitud del decantador.

N_T: N° de tolvas por modulo.

Sección máxima de la tolva (A):

$$A = b \cdot l$$

Donde:

b: Ancho del módulo de placas.

Capacidad de la tolva de almacenamiento de lodos (VT):

Prof. de sección recta de las tolvas h_{01} .

$$V_{T2} = \frac{A \cdot h_{02}}{3} (N_T)$$

Frecuencia de descarga (F):

Caudal de Lodos producidos (Q_L):

$$F = \frac{V_T}{(Q_L \cdot 86.4)}$$

Diámetro de los orificios de descarga (d):

$$d = \frac{x}{1.162 \cdot \left(\sqrt{\frac{H_{ch}^{0.5}}{V_a}} \right)^{0.5}}$$

Donde:

V_a : velocidad de arrastre.

H: carga hidráulica.

X: separación entre orificios de descarga.

Diámetro de la tubería de descarga (D):

Relación de velocidades para una desviación de 10 % (R).

$$D = \frac{d}{\sqrt{\frac{R}{N_T}}}$$

Sección del colector (AC):

$$A_D = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Caudal de descarga de lodo (Q):

Coefficiente de descarga (CD):

$$Q = C_D \cdot A_D \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Tiempo de vaciado (T):

$$T = \frac{V_T}{Q}$$

B.5. Zona de recolección de agua decantada:

Caudal de diseño por decantador (Q_D) - (m^3/s):

$$Q_D = \frac{Q}{N}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s).

N: número de decantadores (und).

Longitud de la tubería de recolección (L_V) - (m):

$$L_V = 1000 \cdot \frac{Q_D}{q_V}$$

Donde:

Q_D : Caudal de diseño por decantador (m^3/s).

q_V : Tasa de diseño de la tubería (L/s).

Número de tubos por módulo (n):

$$n = \frac{L_V}{2 \cdot b}$$

Donde:

L_V : longitud de la tubería de recolección (m).

b : ancho del módulo por decantador (m).

Número de tubos por decantador (n_D):

$$n_D = 2 \cdot n$$

Donde:

n : número de tubos por módulo (und).

Caudal de cada tubería de recolección (q) - (L/s):

$$q = 1000 \cdot \frac{Q_D}{n_D}$$

Donde:

Q_D : caudal de diseño por decantador (m^3/s).

n_D : número de tubos por decantador (und).

Número de orificios por tubería de recolección (n_O):

$$n_O = \frac{2 \cdot b}{e}$$

Donde:

b : ancho del módulo por decantador (m).

e : espaciamiento entre orificios (m).

Área de los orificios (A_O) - (m^2):

$$A_O = \frac{\pi \cdot \left(\frac{2.54 \cdot d_O}{100}\right)^2}{4}$$

Donde:

d_o : Diámetro de los orificios (pulg).

Área de la tubería de recolección (A_R) - (m^2): para recolección uniforme con una desviación menor de 5%, se tiene la siguiente relación:

$$\frac{n_o \cdot A_o}{A_R} < 0.15$$

Donde:

n_o : Número de orificios por tubería de recolección (und).

A_o : Área de los orificios (m^2).

Diámetro de la tubería de recolección (D) - (pulg):

$$D = \left(\frac{100}{2.54} \right) \cdot \left(\frac{4 \cdot A_R}{\pi} \right)^{0.5}$$

Donde:

A_R : Área de la tubería de recolección (m^2).

2.3.9.9. Unidad de filtración rápida

A) Descripción: en esta unidad se realiza la etapa final para clarificar el agua a tratar, la cual debe cumplir con el estándar de calidad de agua potable (67). De toda la planta de tratamiento, los filtros son los más complejos. Para que esta unidad sea eficiente debe tener en cuenta la interrelación entre las características de la suspensión afluente y los rangos del medio filtrante (68).

B) Diseño (68):

B.1. Filtros rápidos de tasa declinante y lavado mutuo:

Área de cada filtro (A_F) - (m^2)

$$A_F = \frac{60 \cdot Q}{v_A}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s).

v_A : velocidad ascensional de lavado (m/min).

Área total de los filtros (A_{TF}) - (m^2):

$$A_{TF} = \frac{86400 \cdot Q}{v_F}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s).

v_F : velocidad de filtración promedio ($m^3/m^2/día$).

Número de filtros (N_F):

$$N_F = \frac{A_{TF}}{A_F}$$

Donde:

A_{TF} : área total de los filtros (m^2).

A_F : área de cada filtro (m^2).

Largo de cada filtro (l_F) - (m):

$$l_F = \frac{A_F}{b_F}$$

Donde:

A_F : área de cada filtro (m^2).

b_F : ancho de cada filtro (m).

La medida del ancho de cada filtro (b_F) se estima del ancho total y de la ubicación de toda la unidad de

filtración, comúnmente el ancho total de los filtros coincide con el ancho total de la unidad de decantación, en ambos casos es el ancho total de la estructura. El largo de cada filtro (l_F) debe tener una medida que sea múltiplo de 0.15 m o 0.30 m.

B.2. Cálculo de la expansión del lecho filtrante, selección de la velocidad de lavado y ubicación de las canaletas de lavado:

Tamaño de la arena (D_x) y antracita (D_x') - (mm): para determinar los tamaños efectivos en la prueba de tamices en laboratorio, se deben cumplir las relaciones que se muestran a continuación:

$$D_{90}' = D_{90 - \text{antracita}} = 3 \times D_{10 - \text{arena}} = 3 \times D_{10}$$

$$D_{10}' = D_{10 - \text{antracita}} = \frac{D_{90 - \text{antracita}}}{2} = \frac{D_{90}'}{2}$$

$$D_{60}' = D_{60 - \text{antracita}} = 1.5 \times D_{10 - \text{antracita}} = 1.5 \times D_{10}'$$

Donde:

$D_{10} = D_{10 - \text{arena}}$: tamaño efectivo de la arena (mm).

$D_{90}' = D_{90 - \text{antracita}}$: tamaño más grueso de la antracita (mm).

$D_{10}' = D_{10 - \text{antracita}}$: tamaño efectivo de la antracita (mm).

$D_{60}' = D_{60 - \text{antracita}}$: tamaño al 60 % de la antracita (mm).

Coefficiente de uniformidad de la arena (C_U) y de la antracita (C_U'):

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{D_{60 - \text{arena}}}{D_{10 - \text{arena}}} \leq 1.5$$

$$C_U' = \frac{D_{60}'}{D_{10}'} = \frac{D_{60 - \text{antracita}}}{D_{10 - \text{antracita}}} \leq 1.5$$

Donde:

$D_{10} = D_{10 - arena}$: tamaño efectivo de la arena (mm).

$D_{60} = D_{60 - arena}$: tamaño al 60% de la arena (mm).

$D_{10}' = D_{10 - antracita}$: tamaño efectivo de la antracita (mm).

$D_{60}' = D_{60 - antracita}$: tamaño al 60 % de la antracita (mm).

Se debe cumplir que el coeficiente de uniformidad, tanto de la arena como de la antracita debe ser menor e igual a 1.5.

Diámetro equivalente de la capa más fina (D_E) - (mm):

$$D_E = \sqrt{d_1 \cdot d_2}$$

Donde:

d_1 : diámetro más fino de la capa de arena (mm).

d_2 : diámetro más grueso de la capa de arena (mm).

Los diámetros d_1 y d_2 son obtenidos en la prueba de tamices en el laboratorio.

Número de Galileo para la capa más fina de la arena (G_A):

$$G_A = \frac{D_E^3 \cdot \rho_a \cdot (\rho_{ar} - \rho_a) \cdot g}{\mu^2}$$

Donde:

D_E : diámetro equivalente de la capa más fina (mm).

ρ_a : peso específico del agua (999.77 kg/m³).

ρ_{ar} : peso específico de la arena (2660 kg/m³).

μ : viscosidad dinámica para 10°C (0.001308 kg/(m.s)).

g : aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

Número de Reynolds modificado (R_E):

$$R_E = \frac{v_A \cdot D_E \cdot \rho_a}{\mu}$$

Donde:

v_A : velocidad ascensional de lavado (m/min).

D_E : diámetro equivalente de la capa más fina (mm).

ρ_a : peso específico del agua (999.77 kg/m³).

μ : viscosidad dinámica para 10°C (0.001308 kg/(m.s)).

Porosidad del lecho expandido de la arena (ϵ_i):

$$G_A \text{ vs } R_E = \epsilon_i$$

Donde:

C_E : coeficiente de esfericidad de la arena (0.80).

G_A : número de Galileo para la capa más fina de arena.

R_E : número de Reynolds modificado para la arena.

En el ábaco de porosidad del lecho expandido de la arena se cruzan los resultados obtenidos de G_A y R_E , de esta manera se determinará el valor de ϵ_i .

Porosidad del lecho expandido de la arena (ϵ_i'):

$$G_A' \text{ vs } R_E' = \epsilon_i'$$

Donde:

C_E : coeficiente de esfericidad de la antracita (0.70).

G_A' : número de Galileo para la capa más fina de antracita.

R_E' : número de Reynolds modificado para la antracita.

En el ábaco de porosidad del lecho expandido de la antracita se cruzan los resultados obtenidos de G_A' y R_E' , de esta manera se determinará el valor de ϵ_i' .

Fracción del lecho filtrante que ocupa la capa 1 o capa más fina (X_i): dicha fracción se obtiene de la prueba de tamices en el laboratorio, es la fracción en peso entre dos tamices consecutivos de la serie granulométrica:

Número de Reynolds modificado (Re)

$$\mu = 1.3070^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = 4.729$$

Coeficiente de esfericidad (C_e) = 0.80, entonces del ábaco $e_i = 0.75$

Fracción del lecho filtrante que ocupa la capa 1 o capa más fina (X_i) = 0.002

$$\frac{X_i}{1 - e_i} = 0.01$$

$$\mu = 1.3070^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$R_e = 4.729$$

Coeficiente de esfericidad (C_e) = 0.80, entonces del ábaco $e_i = 0.75$

Fracción del lecho filtrante que ocupa la capa 1 o capa más fina (X_i) = 0.002

$$\frac{X_i}{1 - e_i} = 0.01$$

Porosidad expandida promedio de la capa de arena (ϵ_e):

$$\epsilon_e = 1 - \frac{1}{\sum \frac{X_i}{1 - \epsilon_i}}$$

Donde:

El valor de la sumatoria (Σ), se obtiene de las pruebas de tamices en el laboratorio y del desarrollo del cuadro de cálculo de expansión de la arena ($C_E = 0.80$).

Porosidad expandida promedio de la capa de antracita (ϵ_e'):

$$\epsilon_e' = 1 - \frac{1}{\sum \frac{X_i'}{1 - \epsilon_i'}}$$

Donde:

El valor de la sumatoria (Σ), se obtiene de las pruebas de tamices en el laboratorio y del desarrollo del cuadro de cálculo de expansión de la antracita ($C_{E'} = 0.70$).

Porcentaje de expansión promedio de la arena (E) - (%):

$$E = \frac{\epsilon_e - \epsilon_o}{1 - \epsilon_e}$$

Donde:

ϵ_e : porosidad expandida promedio de la capa de arena.

ϵ_o : porosidad de la arena limpia (0.42).

Porcentaje de expansión promedio de la antracita (E') - (%):

$$E' = \frac{\epsilon_e' - \epsilon_o'}{1 - \epsilon_e'}$$

Donde:

ϵ_e' : porosidad expandida promedio de la capa de antracita.

ϵ_o' : porosidad de la antracita limpia (0.45).

Altura del lecho filtrante expandido (H_{LE}) - (m):

$$H_{LE} = H_a \cdot (1 + E) + H_a' \cdot (1 + E')$$

Donde:

E: porcentaje de expansión promedio de la arena (%).

E': porcentaje de expansión promedio de la antracita (%).

H_a : altura estática de la arena (m).

H_a' : altura estática de la antracita (m).

Caudal que recolecta cada canaleta de lavado (Q_C) - (m^3/min):

$$Q_C = 1.3 \times \frac{60 \cdot Q}{N_3}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s).

N_3 : número de canaletas de recolección de agua de lavado.

Ancho de las canaletas de lavado (w) - (m):

$$w = \frac{Q_C}{82.5 \times H_O^{3/2}}$$

Donde:

Q_C : caudal que recolecta cada canaleta de lavado (m^3/min).

H_O : altura útil de las canaletas de lavado (m).

Altura total de la canaleta de lavado más losa de fondo (H_C) - (m):

$$H_C = 1.5 \times H_O + H_L$$

Donde:

H_0 : altura útil de las canaletas de lavado (m).

H_L : altura de la losa de fondo de las canaletas de lavado (m).

Altura del lecho filtrante estático (H_3) - (m):

$$H_3 = H_a + H_a'$$

Donde:

H_a : altura estática de la arena (m).

H_a' : altura estática de la antracita (m).

Altura o diferencia de expansión (H_{EX}) - (m):

$$H_{EX} = H_{LE} - H_3$$

Donde:

H_{LE} : altura del lecho filtrante expandido (m).

H_3 : altura del lecho filtrante estático (m).

Altura del borde superior de la canaleta de lavado a la superficie del medio filtrante estático (H_4) - (m):

$$H_4 = H_C + H_{EX} + H_D$$

Donde:

H_C : altura de la canaleta de lavado más losa de fondo (m).

H_{EX} : altura o diferencia de expansión (m).

H_D : altura entre lecho expandido y base de la canaleta (m).

Altura del borde superior de la canaleta de lavado relativa al fondo del filtro (H_R) - (m):

$$H_R = H_1 + H_2 + H_{LE} + H_C + H_D$$

$$H_R = H_1 + H_2 + H_3 + H_4$$

Donde:

H₁: altura del falso fondo (m).

H₂: altura del drenaje más la grava (m).

H₃: altura del lecho filtrante estático (m).

H₄: altura del borde superior de la canaleta de lavado a la superficie del medio filtrante estático (m).

B.3. Cálculo de las pérdidas de carga durante el lavado de un filtro y ubicación del vertedero de salida:

Pérdida de carga en la arena durante el lavado (h_f) - (m):

$$h_f = (1 - \epsilon_o) \times \frac{(\rho_{ar} - \rho_a)}{1,000} \times H_a$$

Donde:

ϵ_o : porosidad de la arena limpia (0.42).

ρ_a : peso específico del agua (999.77 kg/m³).

ρ_{ar} : peso específico de la arena (2 660 kg/m³).

H_a: altura estática de la arena (m).

Pérdida de carga en la antracita durante el lavado (h'_f) - (m):

$$h'_f = (1 - \epsilon'_o) \times \frac{(\rho_{ant} - \rho_a)}{1,000} \times H'_a$$

Donde:

ϵ'_o : porosidad de la antracita limpia (0.45).

ρ_a : peso específico del agua (999.77 kg/m³).

ρ_{ant} : peso específico de la antracita (1 600 kg/m³).

H_a' : altura estática de la antracita (m).

Pérdida de carga total en el lecho filtrante durante el lavado (h_{f1}) - (m):

$$h_{f1} = h_f + h_f'$$

Donde:

h_f : pérdida de carga en la arena durante el lavado (m).

h_f' : pérdida de carga en la antracita durante el lavado (m).

Número de viguetas del drenaje en cada filtro (N_1):

$$N_1 = \frac{l_F}{b_V}$$

Donde:

l_F : largo de cada filtro (m).

b_V : ancho de cada vigueta (m).

Número de orificios de cada vigueta en cada filtro (N_2):

$$N_2 = \frac{2 \cdot b_F}{x}$$

Donde:

x : espaciamiento entre orificios (m).

b_F : ancho de cada filtro o longitud de cada vigueta (m).

Número total de orificios en el drenaje de una unidad (N_T):

$$N_T = N_1 \cdot N_2$$

Donde:

N_1 : número de viguetas del drenaje.

N_2 : número de orificios de cada vigueta en cada filtro.

Caudal de lavado por orificio del drenaje (q_o) - (m^3/s):

$$q_o = \frac{Q}{N_T}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s).

N_T : número total de orificios en el drenaje de una unidad.

Área de los orificios del drenaje (A_o) - (m^2):

$$A_o = \frac{\pi \cdot \left(\frac{2.54 \cdot d_o}{100}\right)^2}{4}$$

Donde:

d_o : diámetro de los orificios del drenaje (pulg).

Pérdida de carga en los orificios del drenaje durante el lavado (h_{f2}) - (m):

$$h_{f2} = \frac{q_o^2}{2 \cdot g \cdot (C_d \cdot A_o)^2}$$

Donde:

q_o : caudal de lavado por orificio del drenaje (m^3/s).

g: aceleración de la gravedad ($9.81 m/s^2$).

C_d : coeficiente de descarga de los orificios (0.65).

A_o : área de los orificios del drenaje (m^2).

Sección transversal del falso fondo (A_{FF}) - (m^2):

$$A_{FF} = H_1 \cdot b_F$$

Donde:

H_1 : altura del falso fondo (m).

b_F : ancho de cada filtro o longitud de cada vigueta (m).

Velocidad en el falso fondo durante el lavado (V_{FF}):

$$V_{FF} = \frac{Q}{A_{FF}}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s).

A_{FF} : sección transversal del falso fondo (m^2).

Pérdida de carga en el falso fondo durante el lavado (h_{f3}) - (m):

$$h_{f3} = \frac{k \cdot V_{FF}^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

k: coeficiente de pérdida de carga en el falso fondo (1).

V_{FF} : velocidad en el falso fondo durante el lavado (m/s).

g: aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2).

Pérdida de carga en la compuerta de salida durante el lavado (h_{f4}) - (m):

$$h_{f4} = \frac{k \cdot V_{C2}^2}{2 \cdot g}$$

Donde:

k: coeficiente de pérdida de carga en el falso fondo (1).

V_{C2} : velocidad en la compuerta de salida (m/s).

g: aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2).

Altura de agua sobre las canaletas de recolección (h_{f5})
- (m):

$$h_{f5} = \left(\frac{1.3 \times Q}{1.84 \times 2 \times N_3 \times l_F} \right)^{2/3}$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s).

N_3 : número de canaletas de recolección de agua de lavado.

l_F : largo de cada filtro o longitud de la canaleta de lavado (m).

Pérdida de carga total durante el lavado ($h_{f \text{ lavado}}$) - (m):

$$h_{f \text{ lavado}} = h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} + h_{f4} + h_{f5}$$

Donde:

h_{f1} : pérdida de carga total en el lecho filtrante durante el lavado (m).

h_{f2} : pérdida de carga en los orificios del drenaje durante el lavado (m).

h_{f3} : pérdida de carga en el falso fondo durante el lavado (m).

h_{f4} : pérdida de carga en la compuerta de salida durante el lavado (m).

h_{f5} : altura de agua sobre las canaletas de recolección (m).

Altura del vertedero que controla la hidráulica del lavado (H_V) - (m):

$$H_V = H_R + h_{f \text{ lavado}}$$

Donde:

H_R : altura del borde superior de la canaleta de lavado relativa al fondo del filtro (m).

$h_{f \text{ lavado}}$: pérdida de carga total durante el lavado (m).

- B.4. Determinación de la ecuación para calcular la carga hidráulica que requiere la batería para operar con tasa declinante:

Pérdida de carga en el lecho filtrante.

Pérdida de carga inicial en la capa de arena en función de la velocidad de filtración (H_{f1}) - (m):

$$H_{f1} = \frac{180 \cdot v}{g} \cdot \frac{(1 - \epsilon_o)^2}{\epsilon_o^3} \cdot \frac{1}{C_E^2} \cdot \sum \frac{x_i}{d_i^2} \cdot \frac{H_a \cdot 100}{86,400} \cdot V_F$$

Donde:

v: viscosidad (0.001 cm²/s).

g: aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

ϵ_o : porosidad de la arena limpia (0.42).

C_E : coeficiente de esfericidad de la arena (0.80).

H_a : altura estática de la arena (m).

El valor de la sumatoria (Σ), se obtiene de las pruebas de tamices en el laboratorio y del desarrollo del cuadro de cálculo de expansión de la arena ($C_E = 0.80$).

Pérdida de carga inicial en la capa de antracita en función de la velocidad de filtración (H_{f2}) - (m):

$$H_{f2} = \frac{180 \cdot v}{g} \cdot \frac{(1 - \epsilon_o')^2}{(\epsilon_o')^3} \cdot \frac{1}{(C_E')^2} \cdot \sum \frac{x_i'}{(d_i')^2} \cdot \frac{H_a' \cdot 100}{86,400} \cdot V_F$$

Donde:

v: viscosidad (0.001 cm²/s).

g: aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).

ε_o': porosidad de la antracita limpia (0.45).

C_E' : coeficiente de esfericidad de la antracita (0.70).

H_a' : altura estática de la antracita (m).

El valor de la sumatoria (Σ), se obtiene de las pruebas de tamices en el laboratorio y del desarrollo del cuadro de cálculo de expansión de la antracita (C_E' = 0.70).

Altura del vertedero que controla la hidráulica del lavado H_v:

$$HF_{MF} = HF_1 + HF_2$$

Donde:

$$HF_{MF} = 6.530^{-4} VF + 4.157^{-4} VF \text{ m}$$

$$HF_{MF} = 1.069^{-3} VF \text{ m}$$

Pérdida de carga en el drenaje.

Caudal por orificio del drenaje durante el proceso de filtración en función de la velocidad de filtración (q_o'):

$$q_o' = \frac{A_F \cdot V_F}{86,400 \cdot N_T}$$

Donde:

A_F: área de cada filtro (m²).

N_T: número total de orificios en el drenaje de una unidad.

Pérdida de carga en drenaje durante el proceso de filtración en función de la velocidad de filtración (H_{f3}) - (m):

$$H_{f3} = \frac{(q_o')^2}{2 \cdot g \cdot (C_d \cdot A_o)^2}$$

Donde:

q_o' : caudal por orificio del drenaje durante el proceso de filtración en función de la velocidad de filtración (m^3/s).

g : aceleración de la gravedad ($9.81 m/s^2$).

C_d : coeficiente de descarga de los orificios (0.65).

A_o : área de los orificios del drenaje (m^2).

Sección de la compuerta de entrada A_{c1} :

Velocidad en la compuerta de entrada (V_{c1}) = 1.0 m/s

Numero de filtros: $N = 4$:

$$A_{c1} = \frac{1.3 * Q_D}{N * V_c}$$

$$A_{c1} = 0.03 m^2$$

Diámetro de la compuerta de entrada (D) = 7.65 pulg.

Diámetro comercial = 8 pulg.

$$D = \sqrt{\frac{A_{c1} * 4}{\pi}}$$

$$\text{Área circular} = A_c = \pi * D^2 / 4 = 0.032 m^2.$$

Pérdida de carga en la compuerta de entrada:

$$H_{f4} = \frac{k * V_{c1}^2}{2 * g}$$

$$H_{f4} = 2.434^{-7} VF^2 m.$$

Perdida de carga en el vertedero de control o salida:

$$h_{f1} = \left(\frac{Q_D}{1.84 * L}\right)^{2/3}$$

Longitud de cresta del vertedero a lo ancho (L) = 0.75 m.

Hf5 = 0.152 m.

Carga hidráulica disponible para el proceso H_T:

$$H_T = \sum H_F$$

$$\sum H_F = 3.449 \cdot 10^{-7} V_F^2 + 1.069 \cdot 10^{-3} V_F + 0.15$$

2.3.9.10. Unidad de desinfección

A) Descripción: en esta unidad se realiza el proceso de desinfección del agua filtrada, mediante el empleo de cloro. Este producto se aplicará en la dosis calculada para el caudal necesario y en un compartimento destinado para dicho fin denominado cámara de contacto y durante un periodo de tiempo establecido.

B) Cálculo de almacenamiento de cloro:

B.1. Datos básicos de diseño:

Caudal: Q = 82.05 L/s.

Dosis máxima: D_M = 3 mg/L.

Dosis mínima: D_m = 1 mg/L.

Presentación del cloro: Cilindro de 67 kg.

B.2. Dosis promedio (D):

$$D = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2}$$

B.3. Peso de cloro (w):

Consideraciones:

Caudal Q = 82.05 L/s.

Tiempo de almacenamiento T = 60 días.

De la relación: $W = D \times Q \times T$.

B.4. Número de cilindros (N):

Consideraciones:

Peso del cilindro: P = 67 kg.

De la relación: $N = \frac{W}{P}$.

B.5. Área ocupada por cilindros (A_T):

Consideraciones:

Área neta ocupada por cilindro: AC

Factor de área ocupada: f = 1.25

De la relación: $A_T = f N A_c$

C) Cálculo de la estación de cloración:

C.1. Datos básicos de diseño:

Caudal: Q = 82.05 L/s.

Dosis máxima: $D_M = 3.00$ mg/L.

Concentración: C = 3 500.00 mg/L.

Nº de cilindros: 13 unidades.

Desinfectante: cloro.

C.2. Caudal mínimo de agua para eyector (q):

De la relación :
$$q = \frac{Q \times D}{C}$$

C.3. Capacidad requerida del equipo (W):

De la relación:
$$W = Q \times DM$$

C.4. Capacidad máxima y mínima del clorador:

Entonces:

Capacidad máxima: WMax

Capacidad mínima:
$$W_{Min} = \frac{W_{Max}}{20}$$

C.5. Área de tubería de alimentación de agua (A):

Consideraciones:

Velocidad de tránsito: V = 1.20 m/s

De la relación:
$$A = \frac{q}{V}$$

C.6. Diámetro de tubería de alimentación (ϕ):

Consideraciones:

Velocidad de tránsito: V = 1.20 m/s

De la relación:
$$\phi = \left(\frac{4A}{\pi} \right)^{0.5}$$

C.7. Pérdida de carga por fricción (H_o):

Consideraciones:

Longitud de tubería de alimentación: L = 9.3 m.

Coefficiente de fricción: $f = 0.03$

De la relación:
$$H_o = f \frac{LV^2}{2g\phi}$$

C.8. Pérdida de carga menores (Hm):

Consideraciones:

Codos: $K_{Codo} = 0.40$

Te: $K_{Te} = 0.25$

Válvulas de compuerta: $K_V = 0.30$

Filtro Ye: $K_F = 3.50$

Coef. total de pérdida por acceso: $K = 6.9$

De la relación:
$$H_m = \sum K \frac{V^2}{2g}$$

C.9. Carga dinámica total (H):

Consideraciones:

Presión requerida por eyector: $h = 30 \text{ m.}$

De la relación: $H = h + H_o + H_m$

C.10. Potencia de la bomba (P):

Consideraciones:

Peso específico del agua: $\gamma = 1\,000 \text{ kg/m}^3$

Eficiencia: $E = 75 \%$

De la relación:
$$P = \frac{\gamma q H}{75 E}$$

C.11. Volumen de tanque de contacto cloro (VTC):

Consideraciones:

Tiempo de contacto: $t = 30 \text{ min.}$

De la relación: $V_{TC} = Q t$

C.12. Dimensionamiento de cámara de contacto:

- Longitud de cámara de contacto

Consideraciones:

Ancho por cámara: $b = 1.80 \text{ m.}$

Altura: $h = 1.80 \text{ m.}$

De la relación: $L_T = \frac{V_{TC}}{bh}$

- Número de cámaras de contacto:

Consideraciones:

Longitud útil de batería: $L = 11.10 \text{ m.}$

De la relación: $N = \frac{L_T}{L}$

D) Cálculo de almacenamiento de hipoclorito de calcio:

D.1. Datos básicos de diseño:

Caudal $Q = 82.05 \text{ L/s.}$

Dosis máxima $D_M = 4.3 \text{ mg/L.}$

Dosis mínima $D_m = 1.4 \text{ mg/L.}$

D.2. Dosis promedio (D):

$$D = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2}$$

De la relación:

D.3. Peso de hipoclorito de calcio (w):

Consideraciones:

Caudal: $Q = 82.05 \text{ L/s.}$

Tiempo de almacenamiento: $T = 10 \text{ días.}$

De la relación: $W = D \times Q \times T$

D.4. Número de tambores (N):

Consideraciones:

Peso del tambor $P = 50 \text{ kg.}$

De la relación: $N = \frac{W}{P}$

D.5. Área ocupada por tambores (A_T)

Consideraciones:

Área neta ocupada por tambor: $AC = 0.16 \text{ m}^2$

Factor de área ocupada: $f = 1.25$

De la relación: $A_T = f N A_C$

E) Sistema de emergencia para cloración con hipoclorito de calcio:

E.1. Caudal de dilución (q):

Consideraciones:

Concentración: $C = 2 \text{ \%}.$

De la relación: $q = \frac{Q \times D}{C}$

E.2. Volumen de tanque de solución (V):

Consideraciones:

Tiempo de almacenamiento de dosificación: T = 12 h.

De la relación: $V = q * T_o$

E.3. Consumo de reactivo (P)

De la relación: $P = Q * D$

E.4. Consumo por tanque de solución (P_o):

De la relación: $P_o = \frac{P * T_o}{24}$

E.5. Caudal máximo de dosificación (Q_{Máx}):

De la relación: $q_{Máx} = \frac{Q D_M}{C}$

E.6. Caudal mínimo de dosificación (q_{Mín}):

De la relación: $q_{Mín} = \frac{Q D_m}{C}$

E.7. Dimensionamiento:

Consideraciones:

L = 0.90 m.

b = 0.90 m.

Obtenemos: h = 0.60 m.

2.3.9.11. Unidad de secado de lodos

A) Descripción (69): es importante contar con esta unidad, para deshidratar los lodos que se generan en el tratamiento de agua. Su tamaño dependerá a la cantidad de masa y volumen de los lodos que se genera.

B) Diseño (69):

Volumen de lodos generados en la sección piramidal (SP)
(VLSP):

$$V_{LSP} = N_{SP} \cdot \frac{1}{3} \cdot L_{SP} \cdot A_{SP} \cdot H_{SP}$$

Donde:

N_{SP} : número de sección piramidal (und).

L_{SP} : longitud mayor de la base piramidal (m).

A_{SP} : longitud menor de la base piramidal (m).

H_{SP} : altura de la sección piramidal (m).

Volumen de lodos generados en la sección prismática (SR)
(VLSR):

$$V_{LSR} = N_{SR} \cdot \frac{1}{2} \cdot L_{SR} \cdot A_{SR} \cdot H_{SR}$$

Donde:

N_{SR} : número de sección prismática (und).

L_{SR} : longitud mayor de la base prismática (m).

A_{SR} : longitud menor de la base prismática (m).

H_{SR} : altura de la sección prismática (m).

Volumen de lodos generados en la sección paralelepípeda
(SU) (VLSU):

$$V_{LSU} = N_{SU} \cdot L_{SU} \cdot A_{SU} \cdot H_{SU}$$

Donde:

N_{SU} : número de sección paralelepípeda (und).

L_{SU} : longitud mayor de la base paralelepípeda (m).

A_{SU} : longitud menor de la base paralelepípeda (m).

H_{SU} : altura de la sección paralelepípeda (m).

Volumen total de lodos del pre sedimentador (VLS):

$$V_{LS} = V_{LSP} + V_{LSR} + V_{LSU}$$

Donde:

V_{LSP} : número de sección paralelepípeda (und).

V_{LSR} : longitud mayor de la base paralelepípeda (m).

V_{LSU} : longitud menor de la base paralelepípeda (m).

H_{SU} : altura de la sección paralelepípeda (m).

Frecuencia de descarga del pre sedimentador (FS):

$$F_S = \frac{V_{LS}}{Q_L}$$

Donde:

V_{LS} : volumen total de lodos del pre-sedimentador (m³).

Q_L : caudal de lodos del pre-sedimentador (m³/s).

Volumen de extracción de lodos (VEL):

$$V_{EL} = Q_{LS} \cdot T_{TL}$$

Donde:

Q_{LS} : caudal total de lodos del pre sedimentador (m³/día).

T_{TL} : tiempo total de secado de lodos (día).

Área del lecho de secado de lodos (m²):

$$A_{LS} = \frac{V_{EL}}{H_{LS}}$$

Donde:

V_{EL} : volumen de extracción de lodos (m^3).

H_{LS} : altura de lodos en el lecho de secado (m).

Ancho total del lecho de secado de lodos (m):

$$B_{TLS} = \frac{A_{LS}}{L_{LS}}$$

Donde:

A_{LS} : área del lecho de secado de lodos (m^2).

L_{LS} : largo del lecho de secado de lodos (m).

Ancho por unidad del lecho de secado (m):

$$B_{LS} = \frac{B_{TLS}}{N_{LS}}$$

Donde:

B_{TLS} : ancho total del lecho de secado de lodos (m).

N_{LS} : número de unidades en paralelo (Und).

2.4. Definición de términos

- Absorción: fijación y concentración selectiva de sólidos disueltos en el interior de un material sólido, por difusión (69).
- Adsorción: fenómeno fisicoquímico que consiste en la fijación de sustancias gaseosas, líquidas o moléculas libres disueltas en la superficie de un sólido (69).
- Afluente: agua que ingresa a una unidad o componente en la PTAP (69).
- Agua potable: es destinada para consumo humano, ya que se encuentra libre de contaminantes, debido a su proceso de tratamiento (70).
- Bolas de lodo: resultado final de la aglomeración de granos de arena y lodo en un lecho filtrante, como consecuencia de un lavado defectuoso o insuficiente (59).

- Carga negativa o columna de agua negativa: pérdida de carga que ocurre cuando la pérdida de carga por colmatación de los filtros supera la presión hidrostática y crea un vacío parcial (59).
- Carrera de filtro: intervalo entre dos lavados consecutivos de un filtro, siempre que la filtración sea continua en dicho intervalo. Unidad en horas (59).
- Clarificación por contacto: proceso en el que la floculación y la decantación, y a veces también la mezcla rápida, se realizan en conjunto, aprovechando los flóculos ya formados y el paso del agua a través de un manto de lodos (59).
- Coagulación: proceso mediante el cual se desestabiliza o anula la carga eléctrica de las partículas presentes en una suspensión, mediante la acción de una sustancia coagulante para su posterior aglomeración en el floculador (59).
- Colmatación del filtro: efecto producido por la acción de las partículas finas que llenan los intersticios del medio filtrante de un filtro o también por el crecimiento biológico que retarda el paso normal del agua (59).
- Efluente: agua que sale de un depósito o termina una etapa o el total de un proceso de tratamiento (69).
- Filtración: es un proceso terminal que sirve para remover del agua los sólidos o materia coloidal más fina, que no alcanzó a ser removida en los procesos anteriores de una unidad de tratamiento (59).
- Floculación: formación de partículas aglutinadas o flóculos. Proceso inmediato a la coagulación (59).
- Floculador: estructura diseñada para crear condiciones adecuadas para aglomerar las partículas desestabilizadas en la coagulación y obtener flóculos grandes y pesados que se sedimenten (59).
- Flóculos: partículas desestabilizadas y aglomeradas por acción del coagulante o medio coagulante (59).
- Medidor de pérdida de carga o columna de agua disponible: dispositivo de los filtros que indica la carga consumida o la columna de agua disponible durante la operación de los filtros (59).
- Mezcla rápida: mecanismo por el cual se debe obtener una distribución instantánea y uniforme del coagulante aplicado al agua (59).

- Pantallas (baffles o placas): paredes o muros que se instalan en un tanque de floculación o sedimentación para dirigir el sentido del flujo, evitar la formación de cortocircuitos hidráulicos y espacios muertos (59).
- Partículas discretas: partículas en suspensión que al sedimentar no cambian de forma, tamaño ni peso (59).
- Partículas floculentas: son definidas como las partículas en suspensión que, al descender en la masa de agua, se adhieren o aglutinan entre sí y cambian de tamaño, forma y peso específico (59).
- Pre sedimentadores: unidad de sedimentación natural (sin aplicación de sustancias químicas) cuyo propósito es remover partículas de tamaño mayor a 1μ (59).
- Sedimentación: viene a ser el proceso de remoción de partículas discretas por acción de la fuerza de gravedad (59).
- Tasa de aplicación superficial: caudal de agua aplicado por unidad de superficie (59).
- Tasa constante de filtración: condición de operación de un filtro en la que se obliga a éste a operar a un mismo caudal a pesar de la reducción de la capacidad del filtro por efecto de la colmatación (59).
- Tasa declinante de filtración: condición de operación de un filtro en el que la velocidad de filtración decrece a medida que se colmata el filtro (59).
- Tratamiento de agua: remoción por métodos naturales o artificiales de todas las materias objetables presentes en el agua, para alcanzar las metas especificadas en las normas de calidad de agua para consumo humano (59).
- Turbiedad de origen coloidal: turbiedad medida en una muestra de agua luego de un período de 24 horas de sedimentación (59).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Metodología aplicada para el desarrollo de la solución

- Prueba de jarras:
 - Dosis óptima: para la determinación de la dosis óptima se seguirá los siguientes pasos:
 - Determinación del agua cruda, se determinará: la turbiedad, pH, temperatura, conductividad, solidos totales y sales disueltas.
 - Llenar todos los vasos de precipitación con 2 000 mL de agua cruda.
 - Seleccionar un rango de dosis de coagulante a aplicar, (en este caso se considerará dosis de 10mg/L, 15mg/L, 20mg/L, 25mg/L, 30mg/L y 35mg/L), colocando los volúmenes de solución que se van a agregar en los 6 vasos de precipitación de 50 mL.
 - Succionar el contenido de cada vaso con una jeringa hipodérmica y luego retire las agujas de ellas.
 - Inyectar el contenido de cada jeringa en la jarra respectiva, en forma simultánea y realizar la mezcla rápida, la floculación y la decantación según la velocidad, tiempo y gradiente de velocidad de cada uno de los pasos mencionados.
 - Medir la turbiedad de cada vaso de precipitación
 - Graficar los resultados, seleccionado como dosis óptima, aquella que produce la mayor remoción de turbiedad.

- Concentración óptima: para la determinación de la concentración óptima se empleará la dosis óptima que se obtuvo en la prueba anterior, asimismo se seguirá los siguientes pasos:
 - Llenar los vasos de precipitación con 2 000 mL del agua cruda.
 - Con la dosis óptima hallada en la prueba anterior seleccionar un rango de concentración de coagulante a aplicar (en este caso se considerará de 0.5 %, 1 %, 1.5 %, 2 %, 2.5 % y 3 %), colocando los volúmenes de solución que se van a agregar en los 6 vasos de precipitación de 50 mL.
 - Succionar el contenido de cada vaso con una jeringa hipodérmica (sin agujas).
 - Inyectar el contenido de cada jeringa con los vasos respectivos, en forma simultánea y realizar la mezcla rápida, floculación y la decantación según la velocidad, tiempo y gradiente de velocidad de cada uno de los pasos mencionados.
 - Medir la turbiedad de cada vaso de precipitación.
 - Graficar los resultados, seleccionando como concentración óptima, aquella que produce la mayor remoción de turbiedad.

- pH óptimo: para la determinación del pH óptimo se empleará la concentración óptima que se obtuvo en la prueba anterior, asimismo se seguirá los siguientes pasos:
 - Llenar los vasos de precipitación con 2 000 mL del agua cruda.
 - Seleccionar un rango de pH del agua cruda para la determinación del valor óptimo.
 - Seleccionar un rango de dosis de coagulante a aplicar que varié entre los valores cercanos al de la dosis óptima hallada anteriormente (en este caso será de 21mg/L, 24 mg/L, 25mg/L, 27mg/L, 30mg/L y 33mg/L), colocando los volúmenes de solución que se van a agregar en los 6 vasos de precipitación de 50 mL. Los volúmenes de coagulante que se a aplicar en cada vaso de precipitación para así tener la dosis deseada. Se determinará mediante la fórmula:

$$v = \frac{Dosis * Vol}{C. Óptima}$$

Siendo:

Dosis: dosis requerida.

Vol.: volumen de la muestra.

C. óptima: concentración del coagulante.

- Succionar el contenido de cada vaso con una jeringa hipodérmica.
 - Inyectar el contenido de cada jeringa en los vasos respectivos, en forma simultánea y realizar la mezcla rápida, la floculación y la decantación según la velocidad, tiempo y gradiente de velocidad de cada uno de los pasos mencionados.
 - Medir la turbiedad de cada vaso de precipitación.
 - Graficar los resultados, seleccionando como pH óptimo, aquel que produce la mayor remoción de turbiedad.
- Procedimiento general de los ensayos de floculación:

El propósito es determinar la gradiente de velocidad y los tiempos de retención que se deben aplicar en la zona de floculación de la PTAP para obtener una adecuada y establecida formación de flóculos.

- Tiempo y gradiente de velocidad:
 - Se toma la muestra de agua cruda y se determina la turbiedad inicial (T_0).
 - Se llenan los 6 vasos del equipo con el agua cruda que se va a flocular.
 - Se pone a funcionar el equipo con una velocidad de 300 rpm.
 - Se aplica la dosis óptima de coagulante de acuerdo a lo determinado en el ensayo respectivo.
 - A partir de la dosis del coagulante se realizará la mezcla rápida durante 5 s.
 - Al finalizar la mezcla rápida se inicia el proceso de floculación, para lo cual se modifica la velocidad de acuerdo a los gradientes de velocidad seleccionados.

Cuando se está ensayando se recomienda seleccionar gradientes de velocidad en un rango de 20 a 80 s⁻¹, en este caso un gradiente diferente para cada grupo de trabajo.

- Luego de floculada el agua 5 min, se retira el primer vaso, se coloca el tomador de muestra y se deja sedimentar por 10 min.
- Los siguientes vasos se retiran en los tiempos que se indican:

Jarra N°02: T₂ = 10 min.

Jarra N°03: T₃ = 15 min.

Jarra N°04: T₄ = 20 min.

Jarra N°05: T₅ = 25 min.

Jarra N°06: T₆ = 30 min.

- Se determina la turbiedad residual (T_f) para cada muestra, se calcula la eficiencia remocional:

$$\frac{T_f}{T_0} \times 100$$

- Se grafican en escalas aritméticas los valores de T_f versus periodos de floculación para los diferentes valores de gradiente de velocidad. De esta curva se selecciona el periodo total de floculación en base al punto que produce el menor valor de T_f.
- Posteriormente se grafican en escalas aritméticas los valores de T_f versus gradientes de velocidad para diferentes periodos de floculación. Para cada valor de gradiente se obtiene un tiempo de floculación en el cual se produce un valor mínimo de T_f. Estos valores se analizan aplicando la teoría de los mínimos cuadrados a la ecuación de la recta.

$$Y = a + bX$$

Siendo:

$$\text{Log } G = Y$$

$$\text{Log } T = X$$

Se determina los valores de “a”, “b” y el grado de ajuste “r²”. Si el grado de ajuste es aceptable (r² aprox. = 0.90), se continua el cálculo, en caso contrario se deberá repartir el procedimiento de laboratorio.

- Se selecciona el número de compartimientos (N) de floculador. El periodo de retención de cada compartimiento será igual a:

$$\frac{T_{total}}{N}$$

- Con estos valores se determina el gradiente correspondiente a cada compartimiento, aplicando la ecuación obtenida que será del tipo:

$$G^n T = K$$

Los valores que tendrán las variables “n” y “K” se determinan como consecuencia de este ensayo de laboratorio.

- Finalmente se obtiene la ecuación de la recta y se grafican los resultados de la gradiente de velocidad con el tiempo de retención.
- Procedimiento general de los ensayos de sedimentación:

El propósito es determinar la velocidad de sedimentación y generación de lodos que se deben aplicar en la zona de sedimentación de la PTAP para obtener una adecuada agua decantada.

- Turbiedad final y remanente, tasa, tiempos y velocidad de sedimentación:
 - Llenar los 6 vasos con el agua cruda a flocular. Encender el equipo y agregar la dosis óptima, realizando la mezcla rápida a 300 rpm durante 5 segundos.
 - Concluido el minuto de mezcla rápida inicial la floculación con los gradientes y tiempos de floculación preseleccionados.
 - Terminada la floculación detener el equipo y colocar los floculadores para tomar las muestras, tratando de no producir ninguna perturbación en las suspensiones.
 - Tomar muestras a 6 cm de profundidad para lo cual se fijarán a esta altura los tubos de succión de los floculadores.
 - Tomar muestras cada minuto, la última jarra se toma muestra a los 10 minutos de iniciada la sedimentación.
 - Determinar la turbiedad residual (T_r).

- Después de un periodo de decantación de por lo menos media hora, tomar una de las jarras y trasegar suavemente el sobrenadante.
- Vaciar los lodos a una probeta y determinar la cantidad de mililitros de lodos producidos por litro de agua tratada. Este dato se utiliza para diseñar el volumen de la tolva del decantador.
- Calcular los valores de $V_s = \frac{h}{T}$

Siendo:

V_s : Velocidad de sedimentación.

h: Profundidad de lodos (6 cm).

T: Tiempo de formación de lodos.

- Graficar los valores de $C_0 = \frac{T_f}{T_0}$ en las ordenadas, y los valores de " V_s " en las abscisas obteniéndose la curva de sedimentación para el agua estudiada.
- Calcular el porcentaje total de remoción (R_t), la turbiedad removida (T_r) y la turbiedad final o remanente (T_f).

$$R_t = [1 - (C_0 - C_f)] + \left(\frac{a + V_s}{2V_s}\right)(C_0 - C_f)$$

$$T_r = R_t \times T_0$$

$$T_f = T_0 - T_r$$

- La carga superficial del decantador será aquella que corresponda al valor de turbiedad final (T_f) deseado en el efluente de la unidad.

Cabe indicar la siguiente información como complementaria.

- A) Método general: en esta investigación el método general es el método científico, ya que se seguirá uno o varios procedimientos tanto en la recolección de datos, como en la investigación de soluciones ante un problema (71). Se utilizarán procedimientos para poder comprender, describir y explicar un problema, y de esta manera poder dar solución a una población (72).
- B) Método específico: el método específico es observacional y experimental, ya que a través de la primera obtendremos información acerca del comportamiento del objeto de estudio tal y como se da en

la realidad, la cual es una manera de acceder a la información directa e inmediata sobre los procesos en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Ayaviri. La segunda, nos permitió describir a qué causa o por qué se debe un acontecimiento en particular, ya que se realizará un estudio en laboratorio (73).

C) Tipo de la investigación: es tecnológico, ya que según Mejía (74) está orientada a mejorar un sistema y a resolver problemas que se presentan en los diversos procesos de cualquier actividad humana, haciendo uso de información existente. En este caso, de proponer un mejoramiento de la PTAP para solucionar el malestar social de la población Ayaviri, brindando una mejor calidad de agua para consumo humano.

D) Técnicas de recolección de datos:

- Observación.
- Protocolo de muestreo.

E) Instrumentos de recolección de datos:

- 01 equipo de prueba de jarras.
- 01 turbidímetro.
- 01 medidor multioperacional (lector de pH, T°, conductividad, sólidos y sales).
- 01 balanza digital.
- 01 probeta de 1 000 mL.
- 01 equipo fotográfico.
- 03 equipo de radio telefonía.
- 01 laptop para uso diario de elaboración de informes.
- 01 flexómetro de 30 metros.
- 01 flexómetro de 5 metros.
- 02 equipos de protección personal.

F) Materiales:

- 01 litro de policloruro de aluminio, proporcionado por la EPS.
- 06 kilos de sulfato de aluminio Tipo A.

G) Técnica de análisis y procesamiento de datos: para el procesamiento de datos se utilizó software, en las cuales se insertaron los datos recolectados y los resultados del análisis de laboratorio. Los softwares que se emplearon son: Excel, Word, Autocad, Watercad y Sewecad.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

4.1. Identificación de requerimientos

La planta de tratamiento de agua potable de Ayaviri se encuentra operativo desde el año 2003 (75). La Planta de Tratamiento de Agua Potable de Ayaviri, está encargada por la EPS AGUAS DEL ALTIPLANO S.R.L. es una empresa municipal de derecho público, esta empresa surgió luego de su separación de la EPS SEDAJULIACA S.A. por decisión de la Junta Empresarial, según la Resolución N° 012-95-EPSSEDAJULIACA S.A./PJE (16).

A) Ubicación política:

- Departamento: Puno.
- Provincia: Melgar.
- Distrito: Ayaviri.

B) Ubicación geográfica: la ciudad de Ayaviri se ubica en la zona central del distrito, entre las siguientes coordenadas geográficas: Longitud Oeste: 72° 52' y 73° 25' y Latitud Sur: 14° 22' y 15° 06' (76).

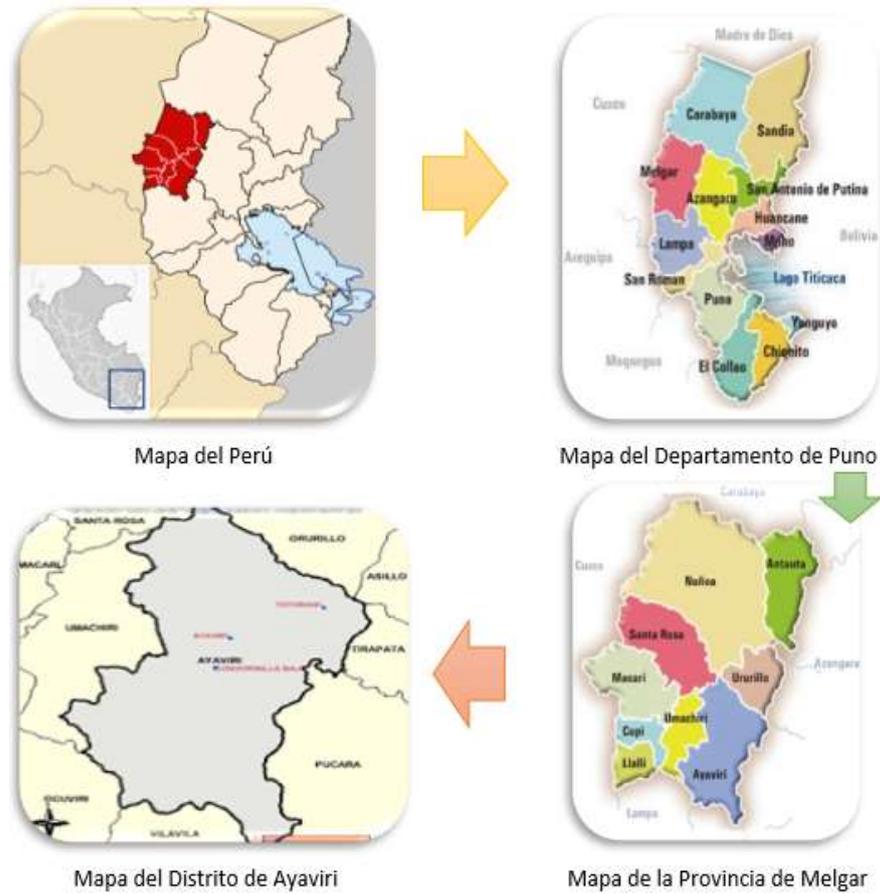


Figura 14. Delimitación y ubicación de la ciudad de Ayaviri - Puno.

Fuente: SEACE (77).

- C) Topografía y tipo de suelo: la topografía es plana, y los pendientes oscilan de 0 % a 4 %, no existen laderas escarpadas ni empinadas. En cuanto al tipo de suelo está conformado por material arenoso arcilloso, teniendo cobertura vegetal en las zonas eriazas, en las zonas urbanas el terreno es arenoso limoso y algunas calles se encuentran asfaltadas (75).
- D) Clima y temperatura: es frígido durante todo el año, con algunas variaciones en el cambio de estaciones, presentando más calor en verano, teniendo una temperatura máxima de 16°C y en el invierno la temperatura promedio es de -10°C (75). Muestra dos estaciones marcadas, lluviosa que empieza desde octubre a marzo, y templada es desde abril a setiembre. Durante el año 2019, SENAMHI reportó que la temperatura mínima se reportó en el mes de Agosto teniendo como valor - 6.2°C y como temperatura máxima en el mes de setiembre con 19.5°C (78).

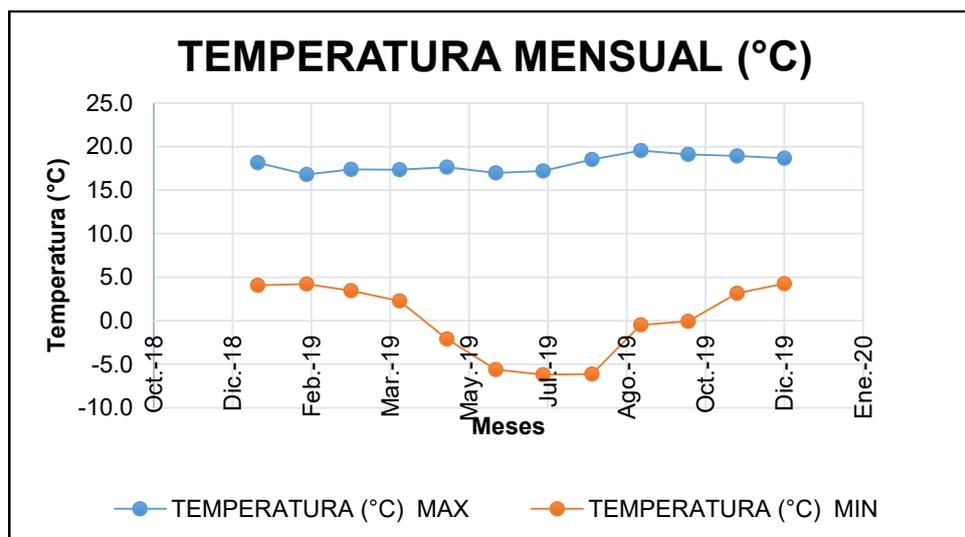


Figura 15. Temperatura mensual 2019 - Ayaviri.

Fuente: elaboración propia en base a Senamhi (78).

- E) Hidrología: el río principal que cruza la ciudad es el río Ayaviri, la cual pertenece a la cuenca del Titicaca, este río nace de la unión del río Santa Rosa y Llallimayo, así mismo es afluente del río Ramis, que desemboca en el Lago Titicaca (79). La subcuenca del río Ayaviri la parte más elevada se encuentra a 5126 m.s.n.m. en el cerro Sapansalla y la parte más baja está a 3839 m.s.n.m., en el cual confluye con el río Azángaro. Presenta una pendiente mínima de 0.017% en la parte más baja y 0.05% en las partes altas, la dirección que tiene es Sureste y forma trapezoidal. Su drenaje es de medio a grueso en la parte baja. Los ríos principales de la subcuenca son: Cahuasiri - Punku Punku, Vilacarca, Umachiri, Condormilla, Actani, Vilcamayo, Machacmarca y Sora, y como laguna principal es la de Tantani (80).

Tabla 6. Dimensionamiento del río Ayaviri.

RÍO AYAVIRI	
Área (km ²)	2 668
Perímetro (km)	298
Longitud (km)	152

Fuente: elaboración propia en base a SIAR (80).

El caudal del río Ayaviri es de 28.2 m³/s según la estación hidrométrica limnimétrica de Ayaviri (puente Ayaviri), teniendo una variación de 76.6 m³/s en el mes de marzo a 3.4 m³/s en el mes de setiembre (80).

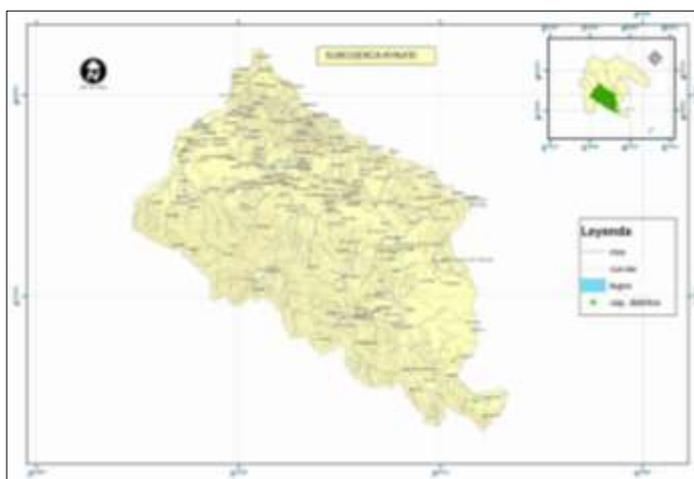


Figura 16. Mapa de la subcuenca Ayaviri.

Fuente: Sistema de Información Ambiental Regional - SIAR (80).

- F) Meteorológico: las precipitaciones en esta zona inician desde el mes de octubre a marzo del siguiente año, durante el año 2019, la precipitación máxima se registró en el mes de enero teniendo 17.8 mm/mensual. Debido a ello se incrementa el caudal de los diferentes ríos del Distrito de Ayaviri (78).

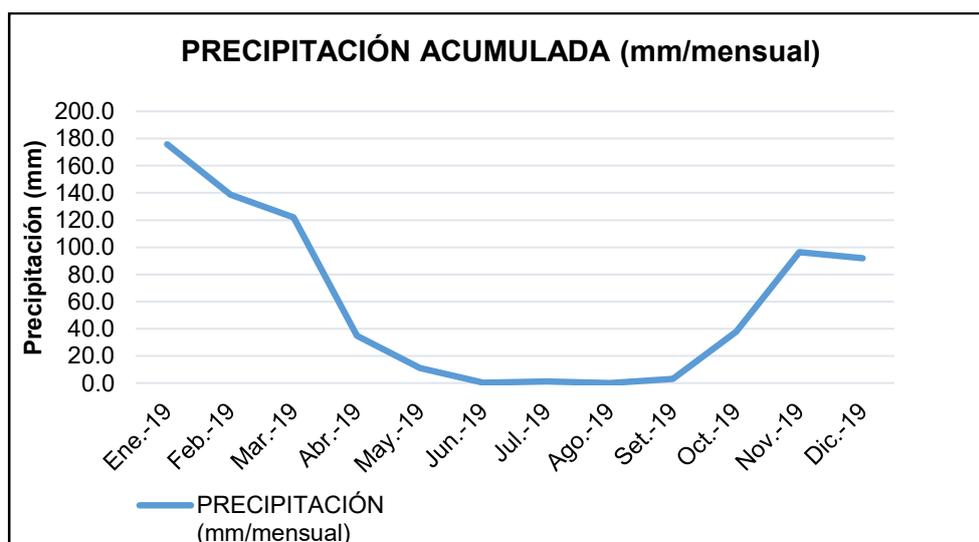


Figura 17. Precipitación acumulada del Distrito de Ayaviri 2019.

Fuente: elaboración propia en base a SENAMHI (78).

4.2. Análisis de la solución

La planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Ayaviri, no cuenta con información acerca de la construcción de la planta de tratamiento, es decir no existen planos, y ningún expediente acerca de dicha planta. Por lo que, es necesario realizar los siguientes estudios:

A) Diagnóstico de la PTAP de Ayaviri.

En este estudio se obtendrá la información de: las unidades o procesos que cuenta la PTAP, las características de las estructuras de cada unidad, y el estado de las estructuras, lo cual permitió conocer el estado situacional que se encuentra la PTAP de Ayaviri.

a) PTAP N° 1: Circunvalación:

- Almacenamiento:

Tabla 7. *Características del almacenamiento - PTAP N° 1.*

Características de la estructura		Observación / Estado
Tipo de estructura.	Cuarto amplio.	Se encontró los insumos químicos distribuidos, debido a él gran espacio se utiliza de almacén de otros elementos adicionales como maquinarias, útiles de limpieza etc.
Acceso.	Puerta de madera.	El traslado de materiales es dificultoso debido a la irregularidad del terreno, la entrada solo permite el ingreso de una persona a lo más con una carretilla.

Fuente: elaboración propia.

- Canal tipo Parshall:

Tabla 8. *Características del canal Parshall - PTAP N° 1.*

Características de la estructura		Función
Tipo de estructura.	Canal Parshall.	No presenta condiciones de mezcla para adición coagulante, no se genera resalto hidráulico, el punto de aplicación lo movieron a otro punto metros adelante.
Ingresos de agua.	Alimentado por La Moya (Bombeo).	Alimentado por Quebrada Punku Punku (gravedad).
Salidas del agua o purga.	01 compuerta metálica.	Bordes de la compuerta oxidada, solo sirve de reboce, apertura dificultosa.

Fuente: elaboración propia.

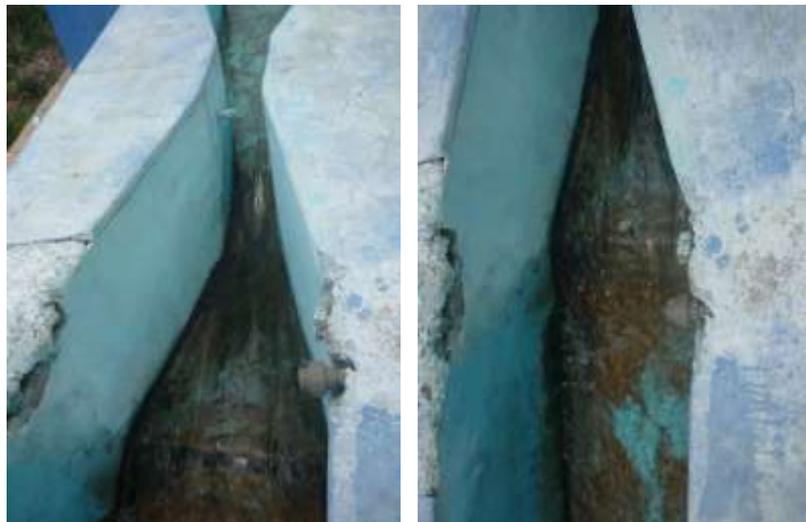


Figura 18. Canal Parshall PTAP N°1

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que no se genera resalto.

- Caseta de dosificación:

Tabla 9. *Características de la caseta de dosificación - PTAP N° 1.*

Características de la estructura		Observación / Estado
Tipo de estructura.	Cuarto (concreto armado).	El espacio es limitado para preparar la solución.
Ingresos de agua.	Alimentado por el operario (agua potable).	Alimentado por el operario (coagulante).
Salidas del agua.	01 difusor (tubería con agujero).	Aplicación puntual, en el punto de dosificación no existe resalto hidráulico.
Mezclador.	20 rpm a 150 rpm.	Homogenizar mezcla (en desuso, se le ha caído las paletas al eje).
Bomba.	4 L/h - 20 L/h.	Inyección del coagulante, operativo.

Fuente: elaboración propia.



Figura 19. Floculador - PTAP N°1

Fuente: elaboración propia.

Se observa el punto de dosificador a la entrada del floculador



Figura 20. Dosificador puntual - PTAP N°1.

Fuente: elaboración propia.

- Floculador:

Tabla 10. Características del floculador - PTAP N° 1.

Características de la estructura		Observación / Estado
Tipo de estructura.	Floculador de flujo horizontal.	Presencia de canales y lodos en la base de los compartimientos
Purga del agua.	01 válvula compuerta, al final del tramo del floculador (Adicionalmente al último tramo se tiene un canal donde están las ventanas de ingreso al siguiente modulo).	Para hacer la limpieza el operario debe de empojar el lodo en todo el recorrido de la unidad. En el último canal previa a las ventanas existen acumulación de lodo.

Pantallas.	Concreto armado.	No presenta condiciones de gradiente y velocidad adecuadas, las distancias entre pantallas no son uniforme por compartimiento.
------------	------------------	--

Fuente: elaboración propia.

- Canal de distribución de agua floculada:

Tabla 11. Características del canal de distribución de agua floculada - PTAP N° 1.

Características de la estructura		Observación / Estado
Tipo de estructura.	Canal con dos accesos a los decantadores.	No se incluyó ventana de inspección, ni un sistema para limpieza del canal.
Ingresos de agua.	Último tramo del floculador (por gravedad).	Las ventanas de ingreso trabajan ahogadas, el nivel del floculador está por encima de las ventanas.
Salidas del agua.	En dirección de los canales de doble fondo de ingreso y salida de agua.	No se consideró un sistema de purga eficiente, se concluye presencia de lodos en el canal.

Fuente: elaboración propia.

- Cámara de ingreso al decantador:

Tabla 12. *Características de la cámara de ingreso al decantador - PTAP N° 1.*

Características de la estructura		Observación / Estado
Tipo de estructura.	Cámara de ingreso.	No se incluyó ventana de inspección, ni un sistema para limpieza del canal.
Ingresos de agua.	Alimentado por canal de distribución de agua floculada.	Ingreso de agua por gravedad.
Salidas del agua.	No cuenta con ninguna purga.	Se presume presencia de lodo en el sistema, ya que no se consideró una purga en la unidad y se nota lodo a la salida de los orificios.

Fuente: elaboración propia.

- Decantador:

Tabla 13. *Características del decantador - PTAP N° 1.*

Características de la estructura		Observación / Estado
Tipo de estructura.	decantadores de flujo laminar con canales de doble fondo (ingreso y salida de agua).	Se aprecia espacios muertos, solo sale el agua decantada por una parte de la sección de la canaleta de recolección.
Purga del agua.	01 válvula compuerta por decantador.	Debido al espacio limitado es dificultoso hacer la apertura y vaciado de la unidad, el módulo de concreto al parecer presenta problemas estructurales.

Zona de ingreso.	Canal inferior y orificios al ingreso del decantador (71 orificio, al parecer 65 orificios obstruidos por lodo).	El canal de doble fondo alrededor de la unidad es de sección constante (zonas de ingreso y salida), siendo deficiente en la distribución de los caudales por los orificios, al momento del llenado se visualizó que solos salía agua en 6 orificios, y el resto presentaba resto de lodos.
Zona de decantación.	No existen paneles.	Se aprecia soportes de una estructura.
Zona de salida.	Canal superior.	Recolecta el agua decantada, por una parte del canal se recolecta agua, evidencia zonas muertas.

Fuente: elaboración propia.

- Batería de filtros:

Tabla 14. *Características de baterías de filtros - PTAP N°1.*

Características de la estructura	Observación / Estado
Tipo de estructura. Batería de filtros de tasa constante y nivel variable.	Deficiente producción de agua, no se tiene un registro del tiempo de lavado, se realiza retrolavado cuando se satura los filtros.
Zona de filtración. Arena.	Diariamente se pierde arena debido a la instalación del material de soporte y las viguetas.

Zona de filtración.	Grava.	Al momento de hacer las calicatas se encontró este material entreverado con la arena y gravilla con cantos rodados.
Zona de filtración.	Viguetas.	Deficiente instalación, en el falso fondo se puede apreciar fuga de material filtrante tanto la arena como la grava.
Cámara de interconexión.	Funciona según la posición de la válvula compuerta tipo galleta (válvula de ingreso y lavado).	No cuenta con un acceso adecuado, el operario debe usar una sogá adicionalmente a la escalera por no tener la suficiente altura.
Componentes	Tipo de válvula	Función
Válvula de ingreso y lavado.	04 válvula compuerta tipo tarjeta (doble función apertura y cierre de compuertas).	Apertura y cerrado deficiente, los ejes de las compuertas se doblan.
Válvula de purga.	02 válvula compuerta.	Apertura y cerrado deficiente, los ejes de las compuertas se doblan.
Válvula de alivio.	02 válvula compuerta.	Apertura y cerrado deficiente, los ejes de las compuertas se doblan.

Fuente: elaboración propia.

- Caseta de desinfección (no existe cámara de contacto de cloro):

Tabla 15. *Características de la caseta de desinfección - PTAP N° 1.*

Características de la estructura		Observación / Estado
Tipo de estructura.	Cuarto (concreto armado sin paredes).	Balones de cloro Expuesto a cualquier persona que esté en los alrededores.
Ingresos de agua.	Alimentado por el cisterna (bombeo de agua potable).	No se tiene regulador la concentración de aplicación, es empírico su mezcla.
Salidas del agua.	01 difusor (tubería perforada).	Bombeado a la cisterna, no se tiene acceso al difusor, cisterna al parecer presenta problemas estructurales.
Balón de cloro líquido.	02 balones de acero de 1 588 kg.	Se encuentra expuesto al alcance de cualquier persona que esté en los alrededores, un balón fuera del cuarto a la intemperie.
Sistema de medición.	Medidor de presión averiado.	El operario estrangula la válvula de salida para regular el cloro.
Bomba	No precisa (bombeo agua).	Sistema de medición averiado.

Fuente: elaboración propia.



Figura 21. Ejes de válvulas doblados al momento del cierre de compuertas.

Fuente: elaboración propia.

b) PTAP N° 2: La Moya:

- Almacenamiento:

Tabla 16. *Características de almacenamiento - PTAP N° 2.*

Características de la estructura		Observación / Estado
Tipo de estructura.	Cuarto con mezzanine.	Se encontró los insumos químicos apiñados, en algunos casos dos insumos en un mismo sitio, se encontró insumos vencidos.
Acceso.	Puerta de madera.	La entrada solo permite el ingreso de una persona a lo más con paquetes a mano, debido a los escalones.

Fuente: elaboración propia.

- Canal de vertimiento de agua cruda y vertedero tipo triangular:

Tabla 17. *Características del canal de vertimiento y vertedero tipo triangular - PTAP N° 2.*

Características de la estructura		Observación / Estado
Tipo de estructura.	Vertedero / estructura de llegada del agua bombeada.	Medidor de caudal/ condiciones de mezcla para adición coagulante.
Ingresos de agua.	Alimentado por La Moya (bombeo).	
Salidas del agua o purga.	No cuenta con ningún sistema de evacuación o purga.	Evacuación manual, debido a que no se evacua o purga tiene una capa de arena de 50 cm aprox. en el fondo.

Vertedero.	Metálico	Requiere reforzar para que este fijo más tiempo.
Flujo del agua.	Debido a la geometría de la estructura se genera espacios muertos.	Existe espacio donde se puede acumular agua.
Condiciones de mezcla homogénea.	No genera.	Debido a la posición choca con la pared y se esparce a ambos lados de la pared.

Fuente: elaboración propia.

- Dosificación (no cuenta con una caseta de dosificación):

Tabla 18. *Características de dosificación - PTAP N° 2.*

Características de la estructura		Observación / Estado
Tipo de estructura.	Tanque elevado (Andamio metálico sobre estructura de concreto armado).	No se tiene condiciones adecuadas para preparar coagulante.
Estado de equipos.	Alimentado por el operario (agua potable).	Alimentado por el operario (coagulante).
Salidas del agua.	01 difusor (tubería con agujero).	Bombeado al ingreso del floculador (Actualmente en desuso).
Mezclador.	20 rpm a 150 rpm.	Homogenizar mezcla (actualmente en desuso).
Bomba.	4 L/h - 20 L/h	Inyección del coagulante (actualmente en desuso).

Fuente: elaboración propia.

- Floculador:

Tabla 19. *Características del floculador - PTAP N° 2.*

Características de la estructura		Observación (estado actual)
Tipo de estructura.	Floculador de flujo horizontal.	Debido a la nueva instalación no tiene condiciones que favorezcan la formación de los flóculos, viéndose cortos circuitos, y canales al fondo.
Pantallas.	Concreto armado.	Condiciones de gradiente y velocidad no son las adecuadas, el espaciamiento entre pantallas es irregular en todo el recorrido del agua.
Salidas del agua o purga.	01 válvula compuerta (comparte con el canal de ingreso al decantador).	De difícil evacuación de material sedimentable, el operario debe de ingresar y barrer o empujar todo el recorrido del agua hasta el canal de ingreso al decantador para poder evacuar el lodo.

Fuente: elaboración propia.

- Decantador:

Tabla 20. *Características del decantador - PTAP N° 2.*

Características de la estructura		Observación (estado actual)
Tipo de estructura.	Decantadores o sedimentador.	No se aprovecha la estructura ya que el recorrido del flujo es superficial.

Zona de ingreso.	Alimentado por canal de interconexión al decantador (ingreso superficial).	El ingreso no es en todo lo largo del decantador, existen zonas donde el flujo es menor, o están obstruidos por la estructura, el ingreso se generan turbulencias rompiendo los flóculos.
Purga del agua.	01 válvula compuerta por decantador.	La pendiente del fondo del decantador no es adecuada para lograr el arrastre del lodo, el operario debe de ingresar y evacuarlo en forma manual.
Zona de decantación.	No existen paneles.	Existen soportes para la instalación, pero por la geometría de la unidad, no cambia el flujo del agua.
Zona de salida.	Canal superior (ventanas ahogadas).	Debido a la configuración de la salida ahoga el flujo del agua, haciendo variar el nivel de operación, haciendo variar también el nivel de ingreso del canal de distribución.

Fuente: elaboración propia.

- Canal de ingreso y lavado de la batería de filtros:

Tabla 21. *Características del canal de ingreso y lavado de baterías de filtros - PTAP N° 2.*

Características de la estructura		Observación (estado actual)
Tipo de estructura.	Canal de doble fondo (uno encima del otro).	No se tiene ventanas de inspección ni ningún acceso a los canales.

Purga del agua.	01 válvula compuerta.	Se puede apreciar que los pernos se sueltan ya que al parecer están cediendo la estructura.
-----------------	-----------------------	---

Fuente: elaboración propia.

- Batería de filtros:

Tabla 22. *Características de batería de filtros - PTAP N° 2.*

Características de la estructura		Observación (estado actual)
Tipo de estructura.	Batería de filtros de tasa constante y nivel variable.	Se saturan rápidamente, aparición de algas.
Mantenimiento.	Mantenimiento correctivo/ Mantenimiento preventivo.	No se hace retrolavado, se hace raspado de la arena, se ha reducido la capa de arena cada vez que se hace el raspado.
Zona de filtración.	Arena.	Diariamente se extrae algas adheridas a la arena perdiéndose el material.
Zona de filtración.	Grava.	Al momento de hacer las calicatas se encontró este material entreverado con la arena y gravilla con cantos rodados.
Canal de interconexión.	Conecta con todos los filtros de la batería (actualmente se utiliza como cámara de contacto).	Acceso limitado por la dimensión y profundidad del componente y por qué la zona es irrespirable por la presencia de cloro.

Canaleta de lavado.	Concreto armado (actualmente en desuso).	Debido al proceso de limpieza manual no se hace retrolavado).
Válvula de ingreso.	Ingreso del agua a la unidad (apertura en el normal funcionamiento, cierre para el vaciado).	Se puede apreciar que los pernos se sueltan ya que al parecer están cediendo la estructura.
Válvula de lavado.	04 válvula compuerta, para el lavado del filtro, se usa para agilizar el vaciado de la unidad.	No se usa para el fin que fue instalado.
Válvula de purga.	01 válvula compuerta.	Vaciado de toda la batería de filtros (en funcionamiento).
Válvula.	01 válvula compuerta (solo la manija como se ve la foto).	No se precisa el funcionamiento.

Fuente: elaboración propia.

- Caseta de desinfección (no existe cámara de contacto de cloro):

Tabla 23. Características de la caseta de desinfección - PTAP N° 2.

Características de la estructura	Observación (estado actual)
Tipo de estructura. Cuarto (concreto armado sin paredes) donde se almacena un balón y el otro esta fuera.	No cuenta con un sistema de ganchos y poleas para cambio de balones, no cuentan con suficiente espacio para un balón adicional de reserva.

Mantenimiento.	Mantenimiento correctivo/ Mantenimiento preventivo.	No se realiza ningún tipo de mantenimiento.
Salidas del agua.	01 difusor (tubería perforada).	Instalado en el canal de recolección de agua filtrada, de difícil acceso para un mantenimiento.
Balón de cloro líquido.	02 balones de acero de 1 588 kg.	Se encuentra expuesto al alcance de cualquier persona que esté en los alrededores, un balón fuera del cuarto a la intemperie.
Sistema de medición.	Medidor de presión averiado.	El operario estrangula la válvula de salida para regular el cloro.
Bomba.	No precisa (bombeo agua).	Sistema de medición averiado.

Fuente: elaboración propia.

También se realizará la prueba de trazadores, haciendo uso del cloruro de sodio, con ello se obtendrá la información del tiempo de retención en las unidades de floculador y el decantador.

- Prueba de trazadores:

A continuación, se presenta un cuadro con los resultados del trazador.

Tabla 24. *Datos de prueba de trazadores de PTAP N° 1 y PTAP N° 2.*

Trazador	Nombre comercial	Tipo de aplicación
Cloruro de sodio.	Sal de mesa.	Instantánea.

Resultados del ensayo en la PTAP N° 2A y PTAP N° 2B (La Moya)

Unidad	Tiempo de Retención	Observación.
Floculador		
1er compartimiento	5 min 47 s	Faltan pantallas.
2do compartimiento	5 min 37 s	El espaciamiento entre pantallas no es uniforme.
3er compartimiento	10 min 11 s	Geometría de pantallas irregular.
Total	21 min 35 s	
Decantador	14 min 15 s	Recorrido superficial.

Resultados del ensayo en la PTAP N° 1 (Circunvalación)

Unidad	Tiempo de Retención	Observación.
Floculador		
1er compartimiento	8 min 24 s	
2do compartimiento	8 min 17 s	
3er compartimiento	10 min 14 s	Geometría de pantallas irregular.
Total	27 min 30 s	
Decantador	2 h 15 min 02 s	La salida de agua decantada es por una sección reducida.

Fuente: elaboración propia.



Figura 22. Medición de trazador en PTAP N° 1.

Fuente: propia.

La medición del trazador se midió en distintos puntos de la planta circunvalación (PTAP N° 1).



Figura 23. Fallas de concreto.

Fuente: propia.



Figura 24. Pantallas del floculador.

Fuente: propia.

Estado actual de las pantallas del floculador.



Figura 25. Pared del floculador.

Fuente: propia.

Se visualiza fallas en la pared del floculador.



Figura 26. Acceso inadecuado a las unidades.

Fuente: propia.

B) Evaluación de la operación y mantenimiento de la PTAP de Ayaviri:

En esta etapa de evaluación de la operación, se obtendrá información acerca de: los insumos almacenados, la aplicación de coagulante (el tipo de coagulante, la cantidad de uso y su aplicación).

- Listado de insumo almacenados:
 - Almacenamiento: se cuenta con los siguientes insumos:
 - Policloruro de aluminio (en reserva almacenado).
 - Grava y arena de diferentes diámetros (en reserva almacenado).
 - Sulfato de cobre (en reserva almacenado).
 - Cal (en reserva almacenada).
 - Sal marina yodada (en reserva almacenada).
 - Hipoclorito de calcio (en reserva almacenado).

- Aplicación de coagulante en planta.

Tabla 25. *Aplicación del coagulante a la PTAP N° 1 y PTAP N° 2.*

PTAP N° 1 (Circunvalación)		
Tipo de coagulante	Cantidad de insumo	Aplicación (bombeo)
Policloruro de aluminio	L Policl. Al/L agua	
Abril	5L/50 ; 50/500L H ₂ O	2L/h - 2.5L/h
Mayo	2L/80 ; 3/75; 5/60L H ₂ O	2L/h - 2.5L/h
Junio	3L/80 ; 5/90; 3/70L H ₂ O	2L/h - 2.5L/h
Julio	5L/100; 4/70L H ₂ O	2L/h - 2.5L/h
Agosto	3L/80; 4/100L H ₂ O	2L/h - 2.5L/h
Setiembre	3L/70L H ₂ O	2L/h - 2.5L/h
Octubre	180L /430; 3/80L H ₂ O	2L/h - 2.5L/h
Noviembre	35L /450L H ₂ O	2L/h - 2.5L/h
Diciembre	35L /450L H ₂ O	2L/h - 2.5L/h
PTAP N° 2 y N° 3 (La Moya)		

Debido a la aparición de gran cantidad de algas se optó por dejar de Aplicar el coagulante, no se cuenta con registro del uso del coagulante.

Fuente: Registros de la EPS Aguas del Altiplano al año 2016.

En la etapa de evaluación de mantenimiento, ayudará obtener datos como: la actividad de la limpieza de las unidades, el mantenimiento de los filtros.

- Limpieza del floculador: según las entrevistas con los operarios este se realiza mensualmente aproximadamente, o cuando se visualiza presencia de lodos en demasía.

Tabla 26. *Limpieza del floculador PTAP N° 1 y PTAP N° 2.*

PTAP N° 1 (Circunvalación)		
Actividades en el floculador	Cantidad de insumo	Aplicación
Sal/Cal/Sulfato de cobre		
Barrido Manual / purga		Fondo y paredes
Insumos en paredes	4L Sal/4L Cal/ 4L Sulf.	Fondo y paredes
PTAP N° 2 y N° 3 (La Moya)		
Actividades en el floculador	Cantidad de insumo	Aplicación
Sal/Cal/Sulfato de cobre		
Barrido Manual / purga		Fondo y paredes
Insumos en paredes	4L Sal/4L Cal/ 4L Sulf.	Fondo y paredes

Fuente: elaboración propia.

- Limpieza en decantador: según las entrevistas con los operarios este se realiza mensualmente aproximadamente, o cuando se visualiza presencia de lodos en demasía, otro motivo del mantenimiento es la presencia de algas en el sistema.

Tabla 27. *Limpieza del decantador PTAP N° 1 y PTAP N° 2.*

PTAP N° 1 (Circunvalación)		
Actividades en el decantador	Cantidad de insumo	Aplicación
Sal/Cal/Sulfato de cobre		
Barrido Manual / Purga		Fondo y paredes
Insumos en paredes	4L Sal/4L Cal/ 4L Sulf./80L agua	Fondo y paredes

PTAP N° 2A y N° 2B (La Moya)		
Actividades en sedimentador	Cantidad de insumo	Aplicación
Sal/Cal/Sulfato de cobre		
Barrido Manual / purga		Fondo y paredes
Insumos en paredes	4L Sal/4L Cal/ 4L Sulf. /80L agua	Fondo y paredes

Fuente: elaboración propia.

- Operación y mantenimiento de los filtros: según las entrevistas con los operarios y lo que se presencié en campo este se realiza periódicamente según se vayan colmatando los filtros.

Tabla 28. Operación y mantenimiento de los filtros PTAP N° 1 y PTAP N° 2.

PTAP N° 1 (Circunvalación)		
Operación en batería de filtros		
Nivel de operación	Nivel del agua	Actividades (diario)
Normal operación de filtros	Nivel entre Mínimo y Máximo	
Retrolavado	Niv. Max. (funciona Reboce)	Cierre puerta de ingreso
Baja nivel en los demás filtros		Apertura puerta purga
Recupera nivel para el siguiente retrolavado		
PTAP N° 2A y N° 2B (La Moya)		
Operación en batería de filtros		
Nivel de operación	Nivel del agua	Actividades (diario)
Normal operación de filtros	Nivel entre mínimo y máximo	
No existe retrolavado	Max. (rebosa fuera de PTAP)	Aislar batería de filtros
Se vacían los filtros		Raspado manual

Esta operación se realiza para cada uno de los filtros para luego entrar en funcionamiento.

Fuente: elaboración propia.

- Proceso de desinfección: según entrevista a los operarios, la regulación de la cantidad de desinfectante a inyectar lo realiza determinando el cloro residual (1 mg/L a 2 mg/L) a la salida de la planta, La Cisterna de almacenamiento es de 100 m³, y se clora directamente, Según informó el operario hasta junio del 2016 se aplicaba 0.25 kg/h de cloro, pero en la actualidad se aplica diariamente 2 - 2.5 kg/h, y esta se adiciona manualmente, por eso el operador debe estar pendiente de la cloración.

Tabla 29. Proceso de desinfección PTAP N° 1 y PTAP N° 2.

PTAP N° 1 (Circunvalación)	
Tipo de desinfección	Cantidad de Insumo (Kg)
Abril (Hipoclorito de calcio)	1.5 kg
Mayo (Hipoclorito de calcio)	1.5 kg
Junio (cloro gas)	2 kg/día - 2.5 kg/día
Julio (cloro gas)	2 kg/día - 2.5 kg/día
Agosto (cloro gas)	2 kg/día - 2.5 kg/día
Setiembre (cloro gas)	2 kg/día - 2.5 kg/día
Octubre (cloro gas)	2 kg/día - 2.5 kg/día
Noviembre (cloro gas)	2 kg/día - 2.5 kg/día
Diciembre (Hipoclorito de calcio)	1.5 kg
PTAP N° 2A y N° 2B (La Moya)	
No se tiene un registro de la cantidad aplicada.	

Fuente: Registro de la EPS Aguas de Altiplano al año 2016.

Observación: en el inventario figuran balones de cloro gas, en campo y en la entrevista con los operarios mencionan que es cloro líquido.

C) Evaluación de las unidades hidráulicas de la PTAP de Ayaviri:

En esta etapa se va a calcular el aforo de caudales en el floculador, decantador y canal de interconexión de la PTAP. Para ello es importante que la planta de tratamiento se encuentre completamente vacía, para iniciar con el cronometraje en el llenado de cada unidad de la planta de tratamiento.

- Aforo de caudales PTAP N°1 (Circunvalación):

Tabla 30. *Aforo de caudales PTAP N° 1.*

Unidad	Volumen (m ³)	Tiempo de llenado	Caudal (L/s)
Floculador	26.53	27 min 23 s	16.14
Decantador N°1	53.52	2 h 17 min 02 s	6.51
Decantador N°2	53.52	2 h 17 min 48 s	6.47

Fuente: elaboración propia.

- Aforo de caudales PTAP N° 2A (llenado en paralelo, en la zona La Moya):

Tabla 31. *Aforo de caudales PTAP N° 2A.*

Unidad	Volumen (m ³)	Tiempo de llenado	Caudal (L/s)
Floculador	42.42	32 min 23 s	21.83
Decantador	104.52	13 min 38 s	23.65
Canal de interconexión	1.14	48 s	23.75

Fuente: elaboración propia.

- Aforo de caudales PTAP N° 2B (llenado en paralelo, en la zona La Moya):

Tabla 32. *Aforo de caudales PTAP N °2B.*

Unidad	Volumen (m ³)	Tiempo de llenado	Caudal (L/s)
Floculador	42.42	32 min 23 s	21.83
Decantador	104.52	13 min 38 s	23.65
Canal de interconexión	1.14	48 s	23.75

Fuente: elaboración propia.

- Aforo de caudales PTAP N° 2 (zona La Moya): llenado de una sola unidad (una descanso):

Tabla 33. *Aforo de caudales de la PTAP N° 2.*

Unidad	Volumen (m ³)	Tiempo de llenado	Caudal (L/s)
Floculador	42.42	12 min 47 s	55.32
Decantador	104.52	32 min 01 s	54.41
Canal de interconexión	1.14	21 s	54.28

Fuente: elaboración propia.

D) Evaluación de caudales óptimos en la PTAP de Ayaviri:

Se realiza la evaluación de caudales de cada unidad de planta de tratamiento, para verificar cuál es el caudal que debe ingresar a la PTAP de Ayaviri, ya que no se cuenta con planos de la planta existente. Dicha medición se realizará siguiendo el manual de tratamiento de agua para consumo humano CEPIS.

- Determinación de los caudales óptimos de operación de la PTAP
Circunvalación:
 - Unidad de filtración: con el diseño se tratará de corroborar cual es el caudal óptimo manteniendo el área de filtración de la unidad existente,

en $1.50 \times 2.97\text{m}^2$ (área de cada de filtro). Para ello asignamos una velocidad de lavado de 0.94 m/s , que está en el rango de $0.7 - 1.0\text{ m/s}$. De igual manera se asigna una velocidad de filtración $339.39\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$, que está en el rango $240 - 360\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$, los valores están establecidos en el rango de velocidad de lavado y velocidad de filtración en la normativa, y asignándole un caudal de 70.00 L/s , se logra obtener una batería de 04 filtros con las dimensiones de la unidad existente. Cabe mencionar que se va a considerar un medio filtrante o granulométrico de lecho doble. Debe presentar una adecuada granulometría, con esta condición se procede en asignar las alturas de todas las partes que conforman el filtro: falso fondo 0.36 m , drenaje más grava 0.52 m , altura de arena 0.30 m , altura de antracita 0.50 m y altura expandida de 0.24 m y 0.18 m por encima de la altura expandida se colocará la canaleta de lavado con una altura de 0.53 m . Todo ello nos da una altura desde el fondo del filtro hasta el borde de la canaleta de 2.63 m , que coincide con la ubicación de la canaleta existente de dicha unidad. Como siguiente paso se procede a calcular las pérdidas que se generarían en el proceso de retrolavado con las características del lecho escogido, las dimensiones de las viguetas y la necesaria instalación de una válvula de aislamiento, se calculan todas estas pérdidas de carga: pérdida de carga en la válvula de aislamiento, pérdida de carga de falso fondo, pérdida de carga en los orificios de drenaje, pérdida de carga en el lecho filtrante, adicionalmente una altura de agua sobre las canaletas de recolección, todas las pérdidas nos da un valor total 0.80 m . A dicho valor se le agrega a la altura obtenida de 2.63 m y se obtiene la ubicación del vertedero que controla la hidráulica del lavado, el cual estará ubicado a los 3.43 m , medidos del fondo del filtro. Es necesario conocer los niveles de operación, para ello calculamos las pérdidas de carga que se generan en el proceso de filtración y que con la aplicación del programa NOFIL los obtenemos, estos son: $N1 = 0.77\text{ m}$, $N2 = 1.00\text{ m}$, y $N3 = 1.16\text{ m}$ por sobre el vertedero de control.

- Unidad de floculación: teniendo en cuenta la estructura existente, se tratará de determinar el caudal óptimo de dicha unidad, teniendo en consideración que las gradientes deben estar entre un rango de 70s^{-1}

- $20s^{-1}$ y con un tiempo de retención entre 15 - 30 minutos. Para dicha comprobación se asignó un número de compartimentos adecuados, de tal manera que coincida cada uno de los tres tramos existentes (el compartimento está definido por la separación que existe entre pantallas) y espaciamientos entre ellos, una altura de útil de agua y un caudal que nos permita estar entre las gradientes mencionadas en el rango indicado anteriormente. Se respeta el concepto del flujo horizontal de la unidad de floculación, para lo cual se tendrá un caudal de 33.00 L/s.

- Unidad de sedimentación: de acuerdo a la distribución de las dimensiones de esta unidad se realizó la comprobación mediante el diseño de un sedimentador, ya que actualmente esta unidad no funciona como decantador. Para dicha comprobación se usó una tasa de sedimentación de 0.0004 m/s, y se le asignó un caudal de 21.51 L/s, el cual se ha repartido en las dos unidades existentes. De esta manera se pudo obtener dimensiones muy aproximadas con la estructura existente de la PTAP del Sector Circunvalación.
 - Canal Parshall: el diseño del canal Parshall obedece a unas dimensiones específicas, y considerando las dimensiones existentes de esta unidad (con variaciones en las distancias), se pudo establecer el rango de variación de caudal. Haciendo una verificación de las tablas de equivalencias para esta unidad, se define que trabaja con un rango mínimo y máximo de 1.52 - 110.4 L/s. Las dimensiones de la estructura existente con respecto a las dimensiones típicas con las que se establecen los diseños difieren en varias de sus dimensiones, con lo cual no se podría hacer una medición certera del caudal que ingresa a la PTAP y menos aún una aplicación adecuada del medio coagulante.
- Determinación de los caudales óptimos de operación de la PTAP La Moya:
 - Unidad de filtración: con el diseño se tratará de corroborar cual es el caudal óptimo manteniendo el área de filtración de la unidad existente, en $1.67 \times 2.48m^2$ (área de cada de filtro). Para ello asignamos una velocidad de lavado de 0.94 m/s, que está en el rango de 0.7 - 1.0 m/s. De igual manera se asigna una velocidad de filtración $338.94 m^3/m^2/d$,

que está en el rango $240 - 360 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$, los valores están establecidos en el rango de velocidad de lavado y velocidad de filtración en la normativa, y asignándole un caudal de 65.00 L/s , se logra obtener una batería de 04 filtros con las dimensiones de la unidad existente. Cabe mencionar que se va a considerar un medio filtrante o granulométrico de lecho doble. Debe presentar una adecuada granulometría, con esta condición se procede en asignar las alturas de todas las partes que conforman el filtro: falso fondo 0.36 m , drenaje más grava 0.52 m , altura de arena 0.30 m , altura de antracita 0.50 m y altura expandida de 0.24 m y 0.13 m por encima de la altura expandida se colocará la canaleta de lavado con una altura de 0.60 m . Todo ello nos da una altura desde el fondo del filtro hasta el borde de la canaleta de 2.65 m , la altura actual de la estructura existente es de 2.25 m , por lo cual las alturas no coinciden con la ubicación de la canaleta existente de dicha unidad. Como siguiente paso se procede a calcular las pérdidas que se generarían en el proceso de retrolavado con las características del lecho escogido, las dimensiones de las viguetas y la necesaria instalación de una válvula de aislamiento, se calculan todas estas pérdidas de carga: pérdida de carga en la válvula de aislamiento, pérdida de carga de falso fondo, pérdida de carga en los orificios de drenaje, pérdida de carga en el lecho filtrante, adicionalmente una altura de agua sobre las canaletas de recolección, todas las pérdidas nos da un valor total 0.79 m . A dicho valor se le agrega a la altura obtenida de 2.65 m y se obtiene la ubicación del vertedero que controla la hidráulica del lavado, el cual estará ubicado a los 3.44 m , medidos del fondo del filtro. Es necesario conocer los niveles de operación, para ello calculamos las pérdidas de carga que se generan en el proceso de filtración y que con la aplicación del programa NOFIL los obtenemos, estos son: $N1 = 0.78$, $N2 = 1.02 \text{ m}$, y $N3 = 1.17 \text{ m}$ por sobre el vertedero de control.

- Unidad de floculación: teniendo en cuenta la estructura existente, se tratará de determinar el caudal óptimo de dicha unidad, teniendo en consideración que las gradientes deben estar entre un rango de $70\text{s}^{-1} - 20\text{s}^{-1}$ y con un tiempo de retención entre $15 - 30$ minutos. Para dicha comprobación se asignó un número de compartimentos adecuados,

de tal manera que coincida cada uno de los tres tramos existentes (el compartimento está definido por la separación que existe entre pantallas) y espaciamientos entre ellos, una altura de útil de agua y un caudal que nos permita estar entre las gradientes mencionadas en el rango indicado anteriormente. Se respeta el concepto del flujo horizontal de la unidad de floculación, para lo cual se tendrá un caudal de 25.00 L/s.

- Unidad de sedimentación: de acuerdo a la distribución de las dimensiones de esta unidad se realizó la comprobación mediante el diseño de un sedimentador, ya que actualmente esta unidad no funciona como decantador. Para dicha comprobación se usó una tasa de sedimentación de 0.0004 m/s, y se le asignó un caudal de 18.67 L/s, el cual se ha repartido en las dos unidades existentes. De esta manera se pudo obtener dimensiones muy aproximadas con la estructura existente de la PTAP del Sector La Moya.

4.3. Diseño

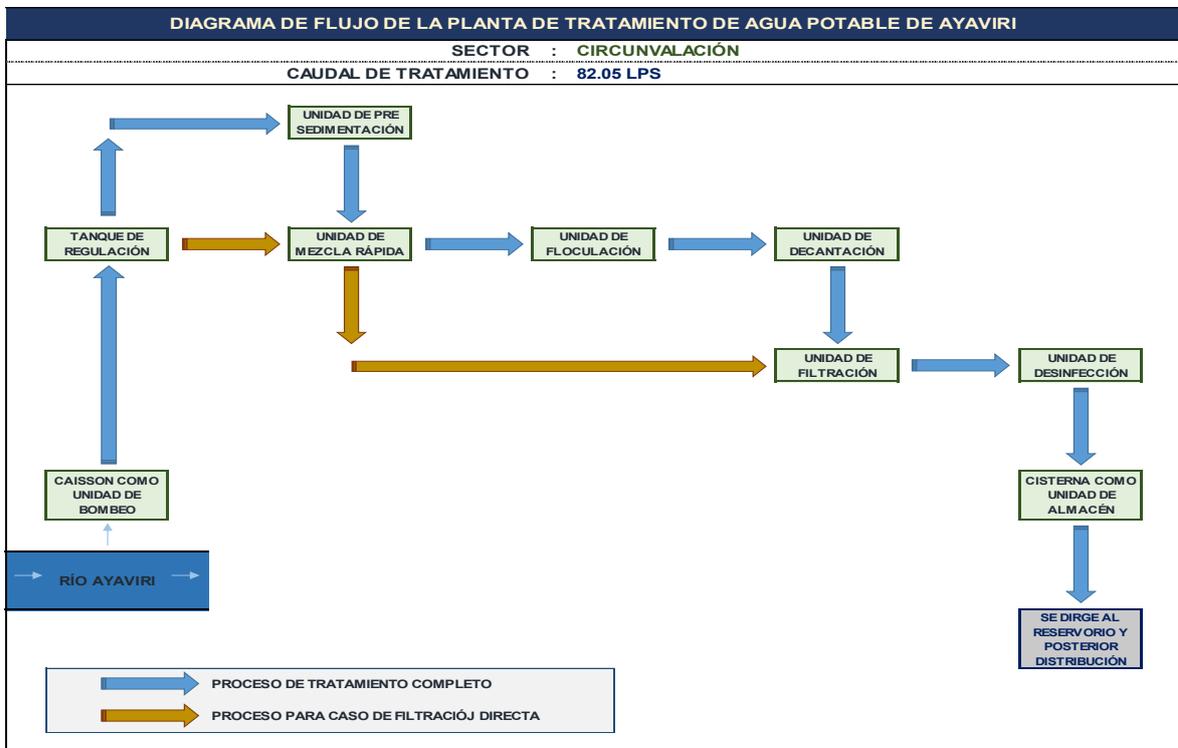


Figura 27. Diseño del proceso para la propuesta de mejora de la PTAP.

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN

5.1. Construcción

Para lograr el objetivo general de la presente investigación es necesario contar con el diagnóstico de la PTAP, para evaluar el estado situacional en la que se encuentra la PTAP Ayaviri, en la cual se constató que dicha planta no realiza un adecuado tratamiento de agua para consumo poblacional, debido a muchos factores, tanto constructivos como operacional y mantenimiento, lo cual coincide con la investigación de Arrieta Lozano (19), quien indica que la problemática en plantas de tratamiento de agua potable, al uso de materiales inapropiadas, como las sustancias químicas, estructuras mal construidas, desconocimiento de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento, entre otros. Es por ello, que se consideró lo siguiente para alcanzar el objetivo de esta investigación:

A) Determinación y proyección de la población actual:

Para la determinación de la población actual y la proyectada, se realizó a través de los datos que la EPS Aguas del Altiplano cuentan, ya que ellos indican que dichos datos no coinciden con los datos registrados en el INEI, debido a que el INEI indica un crecimiento poblacional a nivel nacional del 1 %, lo cual no se cumple en la ciudad de Ayaviri, ya que, en dicha ciudad o distrito, la población se encuentra en decrecimiento, debido a la migración.

B) Determinación del caudal:

Para determinar el caudal con el cual se realizará el diseño de la planta de tratamiento, se consideró el dato que facilitó la EPS Aguas del Altiplano, quienes indicaron que se trabajara con un caudal de 79.25 L/s, dicho valor es el caudal máximo diario, a este valor se le incrementó el 3.5 % de pérdidas de lavado de filtros, por lo que se tiene un caudal final de 82.05 L/s, la cual abastecerá a la población de Ayaviri.

C) Propuesta de mejora de la PTAP Ayaviri:

Considerando la población proyectada y el caudal, se propone realizar la construcción de una sola planta de tratamiento de agua potable, la cual abastecerá a la población durante un periodo de 10 años. El diseño de la infraestructura de la PTAP es la mostrada en la siguiente figura.



Figura 28. Plano de la propuesta de la infraestructura de la PTAP.

Fuente: elaboración propia.

D) Descripción de la propuesta de la Infraestructura de la PTAP:

- Almacenamiento y dosificación:
 - a) Objetivo: diseñar las instalaciones de recepción y almacenamiento y a su vez el sistema de dosificación de las sustancias químicas empleadas en la operación de una planta de tratamiento de agua, cuyo caudal de diseño es de 82.05 L/s.
 - b) Descripción del sistema de recepción y almacenamiento: estas instalaciones se diseñaron para la manipulación de sulfato de aluminio, cuya presentación es de forma sólida y en sacos de 50 kg. cada uno.
 - i. Recepción: esta instalación fue diseñada con la finalidad de una correcta recepción de la sustancia química, asegurando en todo momento la conservación de sus propiedades. Está conformada por una estructura de concreto al nivel del almacén, cuyo nivel de fondo está considerado a nivel de la vereda. La altura considerada, fue establecida con el objetivo de que se permita el ingreso directo de las sustancias, evitando complicaciones en su traslado y colocación.
 - ii. Almacenamiento: la capacidad del almacén fue diseñada para abastecer la planta en un periodo de 2 meses o 60 días, y considerando una manipulación manual de la sustancia química. Para el almacenamiento de sacos de sulfato de aluminio se tuvo en consideración el uso de tarimas de madera de 0.20m de altura, las cuales se emplearán para la disposición de sacos, estas cumplirán la función de aislador de la humedad entre el piso y la sustancia química. El área total de la zona de almacenamiento es 33.28 m² cuyas dimensiones son:
 - Altura: 3.50 m
 - Ancho: 5.20 m
 - Largo: 6.40m

Se consideró la siguiente distribución:

- Altura de las hileras 1.60 m.
- Distancia entre tarimas de 1.00 m.
- Distancia entre pared e hileras de 1.00 m.
- Espacio libre de 1.70 m entre la parte superior de las hileras y el techo.
- Posee una puerta de entrada al almacén de 1.30 m x 2.50 m.
- Espesor de muro de 0.25 m.

- iii. Descripción de la unidad de dosificación: se ha considerado dos tanques de concreto de 0.90 m de largo y 0.90 m de ancho, con una altura útil de 0.60 m. Estos tanques serán para la preparación de solución de sulfato de aluminio al 1.00 %, para que funcionen por un período de aproximadamente 5.6 horas. Cada tanque debe contar con un mezclador mecánico que permita disolver el sulfato de aluminio. La aplicación de las sustancias químicas se efectúa mediante los dosificadores los cuales son capaces de liberar cantidades prefijadas de sustancia química en una unidad de tiempo. En nuestra planta de tratamiento se diseñó un dosificador de solución por gravedad de orificio de carga constante. Se seleccionó este tipo de dosificador ya que con ello se reducen los costos de operación y mantenimiento y tiene un funcionamiento hidráulico que depende de la carga de agua por encima del orificio. El principal motivo de utilizar este tipo de dosificador es que carece de mano de obra calificada para su operación, y lo más importante es que no es un sistema mecanizado, que es un sistema más complicado. Los cálculos de esta unidad se muestran en el Anexo N° 04.

- Unidad de mezcla de coagulante:

- a) Objetivo: diseñar una unidad de mezcla rápida, para un caudal de 82.05 L/s con la finalidad de producir un gradiente de velocidad y tiempo de mezcla óptimos y que además cumpla con las condiciones hidráulicas requeridas como el número de Froude de 4.5 a 9. Además, diseñar un modelo de difusor adecuado, tal que permita una homogeneidad de la mezcla.
- b) Unidad de mezcla rápida: la unidad de mezcla rápida escogida es un canal rectangular con cambio de pendiente, de tal manera que se produzca un Resalto Hidráulico, y que genere una mezcla homogénea. Esta estructura tiene un ancho de 0.90 m y una longitud total de 1.35 m. esta longitud está dividida en 2 sectores bien definidos:
- La primera zona corresponde al canal rectangular con cambio de pendiente de 0.90 m de ancho, una base de 0.65 m y 0.50 m de altura en donde se produce un cambio de pendiente, que va disminuyendo a razón de un ángulo de 37.57° . Esta estructura se ha diseñado de tal manera que al inicio haya una altura de agua igual a 0.13 m.
 - La segunda zona es el lugar donde se genera el Resalto Hidráulico, que también tiene un ancho de 0.90 m y una longitud total de 1.35 m.

En cuanto a los resultados hidráulicos que se han obtenido, se puede mencionar que con el caudal de diseño la gradiente de velocidad es 1202 s^{-1} y el tiempo de mezcla es igual a 2.16 s. Toda esta estructura cuenta con unos muros de espesor de 0.20 m.

- c) Difusor: se ha previsto un difusor constituido por un tubo perforado. Este tubo es de 1.1/2" de diámetro, y 17 orificios de 1/2". Esta tubería está colocada al inicio del resalto hidráulico con la finalidad de lograr una mejor dispersión de coagulante, lográndose una eficiencia mayor. Los cálculos de esta unidad se muestran en el Anexo N° 04.

- Unidad de floculación:

- a) **Objetivo:** diseñar una unidad de floculación, para un caudal de 82.05 L/s con la finalidad de producir un gradiente de velocidad y tiempo de retención óptimos. Además, diseñar un canal de interconexión entre las unidades de mezcla rápida y floculador de tal manera que cumpla las condiciones hidráulicas para un normal funcionamiento de las unidades.
- b) **Descripción de la unidad de floculación:** la unidad de floculación será de flujo vertical, pues este tipo de floculador es más conveniente para plantas de tratamiento de medianas a grandes ($Q > 50$ L/s). Para la determinación de las gradientes de velocidad y los tiempos de retención con los que se diseñó la PTAP se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 34. Determinación de gradiente de velocidad y tiempo de retención de la propuesta.

Compartimento	Periodo de retención (min)		Gradiente de velocidad (s^{-1})
	Parcial	Total	
1	3.74	5.00	74
2	4.71	8.45	51
3	8.30	17.00	23

Fuente: elaboración propia.

Esta unida consta de tres compartimentos, de ancho variable entre ellos, pero de la misma profundidad, siendo la longitud de todos ellos 8.40 m, lo que coincide con la longitud del decantador el ancho de la unidad de mezcla rápida, esto para darle una distribución adecuada a nuestra planta de tratamiento. La profundidad de la unidad de floculación es de 3.60 m y los anchos de cada compartimento son: 1.15 m, 1.45 m y 2.55 m. Las pantallas son de madera machihembrada de 1.5" de espesor, siendo estas removibles para realizar su mantenimiento de manera más fácil. El fondo de la unidad tiene una con pendiente, la cual es variable para cada compartimento.

c) Criterios de diseño:

- El rango de tiempo de retención en el que optimiza el proceso, es de 20 min.
- El rango de gradientes de velocidad recomendables para flocular se encuentra entre 70 y 20 s^{-1} .
- La profundidad de la unidad se encuentra entre alrededor de 4.00 m.
- Ancho de cada compartimiento de floculador (b): este valor es el que iteramos para la obtención de gradientes de velocidad que disminuyan escalonadamente por cada compartimiento, cuidando de que la suma del ancho de cada tramo (b), sea igual al ancho total (B) del floculador.
- Altura de Agua en la Unidad: (H), asumimos según el rango establecido: $H = 3.6$ m (estamos usando pantallas de madera machihembrada).
- Traslape entre pantallas debe ser mayor a $2/3 \cdot H$.
- Para el desagüe de la unidad, se ha considerado la instalación de válvulas de 14" de diámetro, ubicada en el final/centro de cada tramo.

Los cálculos de esta unidad se muestran en el Anexo N° 04.

- Unidad de decantación:

- a) Objetivo: diseñar la unidad de decantación de placas con canal central de distribución de agua floculada, la zona de recolección de agua decantada y el dimensionamiento del colector múltiple con tolvas separadas.
- b) Unidad de decantación: contará con tres unidades de similares características y cada una de estas unidades a su vez contará con dos módulos de placas paralelas, un canal central por donde se realiza la distribución de agua floculada, tuberías de recolección de agua decantada a lo largo de los módulos de decantación y un colector

múltiple de tolvas separadas. La repartición de agua floculada a cada una de estas unidades se realizará a través de una canal de distribución de agua floculada.

- i. Zona de decantación de placas paralelas: esta zona está conformada por el espacio que ocupan las lonas de vinilo con fibras de poliéster con dimensiones de 1.2 x 1.20 m. siendo un total de 76 unidades por módulo de decantador y espaciadas una distancia de 12 cm en el plano horizontal. Estas lonas tienen un espesor de 0.060 cm. ubicados de forma tal que tienen un ángulo de inclinación de 60° con respecto a la horizontal. Cada decantador contara con dos módulos de decantación divididos por un canal central.
- ii. Canal central de distribución de agua floculada: cada unidad de decantación contara con un canal central de distribución de agua floculada con ancho constante y sección variable repartiendo equitativamente el caudal. En nuestro caso este canal tendrá un ancho de 0.65m, y una sección variable de a lo largo de los 9.80 m. que corresponde a la longitud de decantación; debido a esto la altura máxima es de 2.00 m. y una altura mínima es de 0.60 m. Para la distribución uniforme de agua floculada se ha diseñado orificios de 4" de diámetro y espaciadas a 30 cm. de centro a centro siendo un total de 25 orificios a cada lado del canal. La gradiente generada por los orificios es de 12.95 s^{-1} .
- iii. Canal de distribución de agua floculada: este canal tiene la función de distribuir el caudal de diseño a tratar en las tres unidades de decantación; este será de ancho constante y altura variable con la finalidad de repartir equitativamente el caudal a cada decantador. Se encuentra ubicado a lo ancho de la batería de decantación, tiene un ancho de 1.00 m. Al inicio tendrá una altura de 1.80 m reduciéndose hasta llegar a 0.60 m en la última compuerta. La entrada del agua floculada a cada una de las unidades de decantación será por medio de compuertas, ubicadas en la parte superior de este canal. La compuerta tendrá una altura de 0.30 m. y 0.40 m. de ancho.

- iv. Zona de recolección de agua decantada: esta zona estará conformada por un canal que recolectará el agua decantada por medio de tuberías perforadas que han sido diseñadas de acuerdo con la tasa de recolección, siendo para nuestro caso 1.90 L/s.m cuando todos los decantadores están operando, y de 2.85 L/s.m cuando una unidad se encuentra en mantenimiento. Estas tuberías perforadas tendrán un diámetro de 6" y longitud igual a 1.20 m., ubicadas a lo ancho de cada módulo de decantación siendo un total de 12 tuberías por decantador, espaciadas 0.70 m a lo largo de la longitud del decantador. Cada tubería tiene 6 orificios de 1/2" cada uno.
- v. Colector múltiple de tolvas separadas: son un total de 5 tolvas por módulo de decantación. Estas tolvas tienen un ángulo de inclinación de 60° por donde resbalan los lodos y desembocan por unos orificios de descarga de 4" de diámetro. La distancia de eje a eje entre cada orificio de descarga es de 1.16 m. La frecuencia de limpieza es de un día. Los lodos que se recolecten en las tolvas serán eliminados por medio de un colector de 14" ubicado en la parte inferior y que se conecta con las tolvas de cada módulo de decantación por medio de los orificios antes descritos.

Los cálculos de esta unidad se muestran en el Anexo N° 04.

- Unidad de filtración rápida:
 - a) Caudales de diseño = 82.05 L/s.

Los datos de laboratorio que a continuación mencionamos son importantes en la determinación del porcentaje de expansión tanto para la arena como para la antracita, ya que gracias a los datos de la curva granulométrica de la arena se puede determinar los datos de la antracita.

- Tamaño efectivo de la arena (D10) = 0.67 mm.

- Coeficiente de uniformidad de la arena (CU) = 1.43.
- Coeficiente de uniformidad de la antracita (CU) = 1.50.
- Diámetro más fino de la capa más fina de arena (d1) = 0.42 mm.
- Diámetro más grueso de la capa más fina de arena (d2) = 0.50 mm.
- Peso específico de la arena (ρ_s) = 2 660kg/m³.

El valor de la velocidad ascensional de lavado asumido es de 0.81 m/min. La expansión para la arena es de 28.50 % y para la antracita de 29.50 %. Para un caudal de 82.05 L/s se ha diseñado 4 filtros, el área de cada filtro es igual a 6.12 m², siendo el largo de 2.40 m y el ancho de 2.55 m. Con esta información se procede a determinar la altura del medio filtrante doble, teniendo altura de arena igual a 0.30 m y de antracita de 0.50 m, sumando 0.80 m de material filtrante, cada unidad de filtración tiene 8 viguetas de drenaje con 26 orificios de 3/4" cada una, espaciados cada 0.15 m; lo cual nos da un total de 416. Cada filtro posee 1 canal de lavado con un ancho de 0.55 m y una altura de 0.50 m. La altura del falso fondo es de 0.50 m. El vertedero de control se halla a una altura de 3.45m desde el fondo del filtro.

Los cálculos de esta unidad se muestran en el Anexo N° 04.

- Unidad de desinfección:
 - a) Unidad de cloración: el sistema de cloración está diseñado para una dosis máxima de 3mg/L y una dosis mínima de 1mg/L, tiene un periodo de almacenamiento de 60 días, así se requieren 1 607 kg de cloro para el tiempo establecido, por lo que tenemos que utilizar 24 cilindros de 67 kg cada uno, ocupando un área total de 1.15 m².
 - b) Estación de cloración: está diseñada para un caudal de diseño de 82.05 L/s, la dosis máxima es de 3mg/L y una concentración de 3 500 mg/L, obteniendo un caudal mínimo de agua requerido para la operación del eyector de 0.13 L/s. Seleccionamos la capacidad del

clorador a partir de los catálogos, siendo escogido el valor de 1400 g/h. La velocidad en la tubería de alimentación de agua es de 1.20 m/s, el diámetro es de 1" y la longitud es de 9.30 m. Las pérdidas de carga a lo largo de la tubería son por fricción y cargas menores siendo estos valores de 0.82 m y 0.51 m respectivamente. El tiempo de contacto es de 30 minutos y el volumen de tanque de contacto de cloro de 147m³. Las dimensiones aproximadas de la estación de cloración son:

- Ancho de una cámara: $b = 1.80$ m.
- Altura de agua: $h = 1.80$ m.
- Longitud útil total de la cámara de contacto: $L = 45.60$ m.
- Número de canales en la cámara de contacto: $N = 4$ und.

c) Sistema de emergencia para cloración de hipoclorito de calcio: tiene un tiempo de almacenamiento de 10 días. El volumen del tanque de cloración es aproximadamente 0.51m³. Las dimensiones de este sistema son:

- Altura = 0.60 m.
- Ancho = 0.90 m.
- Largo = 0.90 m.

Los cálculos de esta unidad se muestran en el Anexo N° 04.

- Unidad de secado de lodos:

Los cálculos de esta unidad se muestran en el Anexo N° 04.

- a) Reservorio de regulación.
- b) Pre sedimentador.
- c) Decantador.
- d) Sedimentador.

E) Ventajas de la propuesta de la PTAP:

Durante la época de avenida (diciembre a marzo) la planta será abastecida por la quebrada Punku Punku en su totalidad, según entrevistas con el operario y jefe de planta, todo el abastecimiento se realizará por gravedad, economizándose en los bombeos realizados desde la zona la Moya hasta la Planta de tratamiento de agua potable en circunvalación, para el abastecimiento y tratamiento respectivo. Se asegura la continuidad del servicio, debido a que se está proyectando un tanque de regulación de caudal, asegurando el abastecimiento de agua cruda en la planta de tratamiento de agua potable durante todas las horas del día. Reducción de costos de coagulante y mejoramiento de la eficiencia de tratamiento de la PTAP, debido a que se proyecta la instalación de un pre-sedimentador, este ayudara a reducir y regular la turbiedad del agua cruda, presentes en gran magnitud en época de avenida, que ingresara a la planta de tratamiento de agua potable. Las operaciones de Mantenimiento de la planta de tratamiento de agua, funcionaran por gravedad, debido a la ubicación de todas las unidades, estas cuentan con carga hidráulica, teniendo energía potencial por la ubicación y topografía de la zona, economizándose en los bombeos tanto para el vaciado de la planta como de la purga de los lodos, en comparación con las plantas de la zona La Moya. Funcionará como si se tuviese dos sistemas de tratamiento de agua potable, un sistema de filtración rápida completa, para época de avenida, con altos valores de turbiedad y uno de filtración directa, para la época de estiaje, con bajos valores de turbiedad. Debido a la ubicación de la caseta de dosificación este funcionara por gravedad, debido a la carga hidráulica de las estructuras. La inyección del coagulante será por gravedad, debido a la cota donde está ubicado, la caseta de dosificación, esta tendrá una carga hidráulica que servirá para la aplicación del insumo, simplificando el trabajo del operario en solo abastecer los tanques de dosificación con agua y coagulante periódicamente, cuando se consuma todo el coagulante de los tanques. Debido a que es una única planta las operaciones y trabajos de mantenimiento serán menores a comparación de tener más de una planta de tratamiento de agua potable. En un periodo, época de avenida, donde solo la demanda de agua cruda es cubierta por la quebrada Punku Punku, ninguna de las purgas de las unidades, producidas por el abastecimiento de las plantas, no dependerá del fluido eléctrico, ya que todo el funcionamiento será por gravedad. Debido a que se cuenta con gran espacio será posible el flujo vehicular dentro de la planta, en

consecuencias se tendrá una adecuada recepción y conservación de insumos químicos en comparación a la segunda alternativa. Debido a la ubicación, la planta de tratamiento de agua potable no presenta vulnerabilidad a posibles inundaciones.

F) Inconvenientes de la propuesta de la PTAP:

Se deberá tener un estricto control de la calidad del agua cruda que proviene tanto de La Moya como de la quebrada Punku Punku durante toda la operación tanto para la utilización de reactivos como para que la planta de tratamiento de agua potable, funcione como planta de filtración directa o planta de filtración rápida completa. Adicionalmente a la inversión que se realizara a la infraestructura de la planta de tratamiento de agua potable, se deberá invertir en un tanque de regulación de caudal, para asegurar la continuidad del ingreso de agua cruda a la planta y un pre-sedimentador para reducir la alta turbiedad presente en la época de avenida y no afecte en la eficiencia de la PTAP.

5.2. Pruebas y resultados

Uno de los objetivos específicos de la presente investigación está relacionada con la determinación de la dosis óptima del coagulante, lo cual es importante en cuanto a la propuesta de mejora de la planta de tratamiento de agua potable.

Resultado de la prueba de jarras:

- Ensayo de la muestra de La Moya con policloruro de aluminio:

Tabla 35. Datos de muestra de agua cruda usando policloruro de aluminio - La Moya:

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA DE AGUA CRUDA			
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA DE AGUA CRUDA:		LA MOYA - CAISSON 01	
TURBIEDAD (T_{90}):	1,000.00 UNT	CONDUCTIVIDAD:	633.00 μS
pH:	8.80	SOLIDOS TOTALES:	449.00 ppm
TEMPERATURA:	13.20 $^{\circ}\text{C}$	SALES DISUELTAS:	300.00 ppm
MEDIO COAGULANTE EMPLEADO Y VOLUMEN DE MUESTRA POR JARRA			
REACTIVO EMPLEADO:	POLICLORURO DE ALUMINIO		
EQUIPO DE MEDICIÓN:	EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS DE 06 RECIPIENTES		
VOLUMEN POR JARRA:	2,000.00 mL		
PARÁMETROS DE DISEÑO DEL ENSAYO DE LABORATORIO			
DOSIS ÓPTIMA:	27.00 mg/L	FLOCULACIÓN:	50.00 s^{-1}
CONC. ÓPTIMA:	1.50 %	SEDIMENTACIÓN:	0.004 cm/s
PH ÓPTIMO:	8.50		32.00 mL

Fuente: elaboración propia.

- Ensayo de la muestra de Punku Punku con policloruro de aluminio:

Tabla 36. Datos generales de la muestra de Punku Punku con policloruro de aluminio.

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA DE AGUA CRUDA			
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA DE AGUA CRUDA:		PUNKU PUNKU	
TURBIEDAD (T_{90}):	1000.00 UNT	CONDUCTIVIDAD:	706.00 μS
pH:	8.24	SOLIDOS TOTALES:	501.00 ppm
TEMPERATURA:	13.80 $^{\circ}\text{C}$	SALES DISUELTAS:	337.00 ppm
MEDIO COAGULANTE EMPLEADO Y VOLUMEN DE MUESTRA POR JARRA			
REACTIVO EMPLEADO:	POLICLORURO DE ALUMINIO		
EQUIPO DE MEDICIÓN:	EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS DE 06 RECIPIENTES		
VOLUMEN POR JARRA:	2000.00 mL		
PARÁMETROS DE DISEÑO DEL ENSAYO DE LABORATORIO			
DOSIS ÓPTIMA:	27.00 mg/L	FLOCULACIÓN:	50.00 s^{-1}
CONC. ÓPTIMA:	2.00 %	SEDIMENTACIÓN:	0.004 cm/s
PH ÓPTIMO:	8.50		28.00 mL

Fuente: elaboración propia.

- Ensayo de la muestra de La Moya con sulfato de aluminio Tipo A:

Tabla 37. Datos generales de la muestra La Moya usando sulfato de aluminio Tipo A.

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA DE AGUA CRUDA			
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA DE AGUA CRUDA:		LA MOYA - CAISSON 01	
TURBIEDAD (T ₀):	1000.00 UNT	CONDUCTIVIDAD:	767.00 μS
pH:	8.58	SOLIDOS TOTALES:	544.00 ppm
TEMPERATURA:	12.50 °C	SALES DISUELTAS:	365.00 ppm
MEDIO COAGULANTE EMPLEADO Y VOLUMEN DE MUESTRA POR JARRA			
REACTIVO EMPLEADO:	SULFATO DE ALUMINIO - TIPO A		
EQUIPO DE MEDICIÓN:	EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS DE 06 RECIPIENTES		
VOLUMEN POR JARRA:	2000.00 mL		
PARÁMETROS DE DISEÑO DEL ENSAYO DE LABORATORIO			
DOSIS ÓPTIMA:	30.00 mg/L	FLOCULACIÓN:	50.00 s ⁻¹
CONC. ÓPTIMA:	1.00 %	SEDIMENTACIÓN:	0.002 cm/s
PH ÓPTIMO:	8.50		13.20 mL

Fuente: elaboración propia.

- Ensayo de la muestra de Punku Punku con sulfato de aluminio Tipo A:

Tabla 38. Datos generales de la muestra de Punku Punku usando sulfato de aluminio Tipo A.

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA DE AGUA CRUDA			
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA DE AGUA CRUDA:		PUNKU PUNKU	
TURBIEDAD (T ₀):	1000.00 UNT	CONDUCTIVIDAD:	705.00 μS
pH:	7.64	SOLIDOS TOTALES:	500.00 ppm
TEMPERATURA:	16.90 °C	SALES DISUELTAS:	339.00 ppm
MEDIO COAGULANTE EMPLEADO Y VOLUMEN DE MUESTRA POR JARRA			
REACTIVO EMPLEADO:	SULFATO DE ALUMINIO - TIPO A		
EQUIPO DE MEDICIÓN:	EQUIPO DE PRUEBA DE JARRAS DE 06 RECIPIENTES		
VOLUMEN POR JARRA:	2000.00 mL		
PARÁMETROS DE DISEÑO DEL ENSAYO DE LABORATORIO			
DOSIS ÓPTIMA:	30.00 mg/L	FLOCULACIÓN:	60.00 s ⁻¹
CONC. ÓPTIMA:	1.00 %	SEDIMENTACIÓN:	0.003 cm/s
PH ÓPTIMO:	8.50		22.00 mL

Fuente: elaboración propia.

Para fines de este estudio se realizó la medición de prueba de jarras, en la quebrada Punku Punku y La Moya, empleando dos tipos de coagulantes (policloruro de aluminio y el sulfato de aluminio Tipo A), siendo de mejor resultado el policloruro de aluminio, ya que se consigue resultados óptimos para el tratamiento de agua en la ciudad de Ayaviri. En la muestra La Moya se obtuvo: turbiedad Inicial: 1 000 UNT, pH: 8.80, T°: 13.2°C, conductividad: 633 μ s, sólidos disueltos (TDS): 449 ppm, sales disueltas (SD): 300ppm, parámetros: dosis óptima: 27 mg/L, concentración optima: 1.5 %, pH óptimo: 8.5, floculación: $G = 50 \text{ s}^{-1}$, sedimentación $V_s = 0.004 \text{ cm/s}$; vol.lodos = 32 mL; mientras que en el muestra de Punku Punku se obtuvo: turbiedad inicial: 1 000 UNT, pH: 8.24, T°: 13.8 °C, conductividad: 706 μ s, sólidos disueltos (TDS): 501 ppm, sales disueltas (SD): 337 ppm, parámetros: dosis óptima: 27 mg/L, concentración óptima: 2.0 %, pH óptimo: 8.5, floculación: $G = 50 \text{ s}^{-1}$, sedimentación $V_s = 0.004 \text{ cm/s}$ y vol.lodos= 28 mL.

CONCLUSIONES

- Para la mejora de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Ayaviri, Melgar, Puno - 2018 se requiere: a) contar con un tanque de regulación de caudal, para asegurar el abastecimiento permanente a la planta, dicha unidad no existe en la planta actual; b) contar con un pre - sedimentador, ayudando a reducir la turbiedad del agua cruda, ya que actualmente no se cuenta con esta unidad; c) la unidad de dosificación debe llevar un mezclador mecánico para mejorar la disolución del coagulante, así también contar con un dosificador de solución por gravedad de orificios de carga constante; d) para la mezcla de coagulante, la mezcla rápida constituirá a un canal rectangular con cambio de pendiente, generando posteriormente el resalto hidráulico, lo cual no se realiza en la planta actual, mejorando la mezcla del coagulante, esta área tendrá un ancho de 0.90 m, 1.35 m de longitud y 2.16 min como tiempo de mezcla, también habrá un difusor con 17 orificios para mejorar la dispersión del coagulante; e) en la unidad de floculación, el flujo será vertical y tendrá una longitud de 8.40 m y 3.60 m de profundidad, las pantallas serán de madera, lo cual permitirá removerlas para realizar su posterior mantenimiento, mientras que en la planta actual las pantallas son de concreto y ello dificulta al operario realizar el mantenimiento adecuado; f) la decantación estará constituida por 03 compartimientos similares, cada uno de ellos tendrá 02 módulos de placas paralelas y 01 canal central, para obtener una distribución uniforme de agua floculada los orificios será de 4" de diámetro con un total de 25 orificios, se obtendrá una gradiente de 12.95 s^{-1} ; g) la filtración rápida tendrá 04 filtros, cada filtro tendrá un área de 6.12 m^2 con 26 orificios, la altura del material filtrante será de 0.80 m; y h) la desinfección contará con sistema de cloración, considerando como tiempo de almacenamiento a 60 días, así también contará con un sistema de emergencia para cloración de hipoclorito de calcio, por un tiempo de almacenamiento de 190 días.
- El estado situacional de las dos plantas de Ayaviri, PTAP Circunvalación - PTAP N° 01 y PTAP La Moya - PTAP N° 02A y PTAP N° 02B, presentan problemas en su operación y mantenimiento, asimismo existen fallas en su estructura que no permiten un adecuado proceso. En las dos plantas del sector La Moya, las pantallas en el floculador se encuentran deterioradas y no presentan un nivel superior uniforme, tal es así que al ingresar el agua estas pantallas quedan sumergidas y no se realizaría la formación de flóculos; el fondo del decantador se llena de sedimentos y al evacuarlos por la compuerta, éstos no fluyen adecuadamente, se debe ingresar y retirarlos

manualmente hacia el drenaje; en los filtros no se aplica retrolavado y las compuertas están inservibles, toda la remoción debe hacerse manualmente. En el sector Circunvalación no se aplica coagulante por estar dañados los equipos y existe filtración en la zona de filtración que está socavando el terreno. Debido a muchos factores se debe establecer una propuesta que garantice el tratamiento efectivo del agua para consumo humano y con la capacidad suficiente para cubrir la demanda.

- De acuerdo a la demanda de la población, se obtiene un caudal de 82.05 L/s, el cual se debe tratar previo al consumo de la población siendo así que se deben cumplir ciertos periodos de retención para el tratamiento eficiente de la PTAP. En la unidad de floculación se cuenta con tres compartimientos, donde los periodos de retención son distintos y los cuales permitirán la adecuada formación de flóculos, se obtiene lo siguiente: primer compartimiento - 4.2 minutos, segundo compartimiento - 5.58 minutos y tercer compartimiento - 9.77 minutos, teniéndose un periodo de retención de 19.55 minutos, lo que equivale a 20 minutos. En la unidad de decantación se cuenta también con un tiempo establecido para la recolección del agua decantada, posterior a la sedimentación de partículas, teniéndose un promedio de 23 minutos, además, se establecen 3 decantadores con dos módulos por decantador, en cada zona de recolección se tendrá 6 tubos con un diámetro de 6 pulgadas, para la recolección de agua decantada por cada módulo. Se contará con una zona de sedimentación que cuenta con 5 tolvas por módulo donde su frecuencia de descarga de lodos generados en un módulo es de 1.00 día y esta descarga durará un promedio de 8 segundos, a través de una tubería de 14 pulgadas de diámetros.
- Las PTAP existentes, se abastecen de dos zonas de procedencia del agua, una proviene por bombeo desde el Caisson 01 del sector La Moya y otro proviene por gravedad desde la quebrada de Punku Punku. Para determinar las características del medio coagulante que se debe emplear, se utilizó el equipo de Prueba de Jarras, asimismo se contó con dos coagulantes para realizar los ensayos, uno de ellos es el policloruro de aluminio y el otro es el sulfato de aluminio Tipo A: 1) coagulante de policloruro de aluminio, en muestras de 2 L por cada jarra; para la muestra del Caisson 01, se determinó: dosis óptima de 27 mg/L, concentración del 1.50 % y el pH óptimo del 8.50, requiriéndose 3.60 mL de coagulante; para la muestra de Punku Punku, se determinó: dosis óptima de 27 mg/L, concentración del 2 % y el pH óptimo del 8.50, requiriéndose 2.70 ml de coagulante. 2) coagulante de sulfato de aluminio Tipo A, en muestras de 2 L por cada jarra; para la muestra del Caisson 01, se determinó: dosis óptima de 30 mg/L, concentración del 1 % y el pH óptimo del 8.50, requiriéndose 6.00

mL de coagulante; para la muestra de Punku Punku, se determinó: dosis óptima de 30 mg/L, concentración de 1 % y el pH óptimo del 8.50, requiriéndose 6.00 mL de coagulante.

- Debido a que la EPS cuenta con limitada capacidad técnica, económica, se busca que la tecnología a instalar para el tratamiento de agua potable, sea la apropiada, buscando que las actividades de operación y mantenimiento en la PTAP sea sencilla de realizar y la más económica, evitando o reduciendo la utilización de energía eléctrica y grandes programas de mantenimiento preventivo de equipos, el cual se busca que consista mayormente en limpieza y pintado de las unidades.
- Debido a la turbiedad presente en la época de avenida, según las entrevistas con los operarios, se está optando por la instalación de un pre - sedimentador en la propuesta.
- El equipo responsable de operar la planta, deberá tener un control y realizar un registro permanente de la calidad de las fuentes, así como también la calidad del agua a la salida de cada unidad de la planta, esto servirá para definir cómo funcionará la PTAP, como planta de filtración directa, en caso el agua sea de baja turbiedad o planta de filtración rápida completa, en caso el agua cruda contenga un elevado valor de turbiedad.
- Se requiere un sistema de lechos de secado de lodos independiente, uno para el tanque de regulación, otro para el pre - sedimentador y para la PTAP, para así reducir los volúmenes de lodos generados en las purgas de cada unidad.
- Se tiene la necesidad de programar las purgas para optimizar el aprovechamiento de toda el área del lecho de lodos, así como también realizar un registro de la operación.
- Debido al arrastre de material que tendrán los tanques de regulación la purga de estas unidades no se realizará con gran frecuencia, pero al momento de realizarlas, no deberán interrumpir el proceso de secado de los demás lechos, teniendo la necesidad, que este lecho sea independiente de los demás lechos.
- El mantenimiento de las unidades se podrá realizar con mayor facilidad en época de estiaje, debido a que en esta época la calidad del agua cruda mejora, en consecuencia, se reducirán la frecuencia de las purgas en las unidades.
- Se concluye que la propuesta de la planta de tratamiento de agua potable alcanza un Valor Actual Neto (VAN) positivo, por lo que es factible; así mismo, el 20.78 % (TIR) superó el valor de 0 lo que indica que el proyecto es rentable.

TRABAJOS FUTUROS

En cada trabajo de investigación es importante identificar los trabajos futuros para dar continuidad al esfuerzo invertido. Es por ello que a continuación se presentan algunos trabajos futuros que pueden desarrollarse para mejorar o complementar la presente investigación.

- Realizar la descripción de la línea base de la ciudad de Ayaviri, ya que no se cuenta con información del aspecto físico, biológico y socioeconómico, lo cual ayudará a complementar la presente investigación.
- Realizar la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de la presente investigación, para evitar daños al medio ambiente a través de medidas preventivas y correctoras, y conservar los recursos naturales.
- Realizar un plan de operación y mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Ayaviri, lo cual ayudará a que la planta de tratamiento trabaje eficientemente.
- Realizar un estudio de suelo, determinando la capacidad portante del área donde se propone la construcción de la Planta de Tratamiento de Agua Potable.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la inmediata reubicación del laboratorio en la zona de circunvalación para evitar riesgo de accidentes y perder o dañar los equipos de laboratorio por posible colapso de la estructura.
- Se deberá implementar el laboratorio con utensilios y reactivos necesarios para la evaluación de prueba de jarras, como, por ejemplo, pipetas, probetas, vasos precipitados, agua destilada, etc.
- Se recomienda realizar pruebas de jarras adicionales para la etapa del expediente técnico para ajustar los parámetros de diseño de la propuesta, así como también los parámetros de operación de la PTAP.
- En el arranque e inicio del funcionamiento de la planta se deberá realizar permanentemente la evaluación de prueba de jarras para ajustar los parámetros de operación de la PTAP.
- Se recomienda realizar el monitoreo de calidad de agua en forma diaria durante todo el año para precisar el inicio y termino, en donde la planta de tratamiento de agua potable funcionara como planta de filtración directa, en época de estiaje o planta de filtración rápida completa, en época de avenida.
- Se recomienda realizar un registro de todas las purgas realizadas a todas las unidades de tratamiento, así como también los sistemas de tratamiento previo.
- Si bien el tanque de regulación de caudal por manejar grandes magnitudes de caudales y tener un arrastre considerable de sedimentos, se deberá realizar la purga periódicamente sin interrumpir la frecuencia de purgas en las demás unidades, motivo por el cual se tienen lechos independientes.
- Se recomienda la capacitación del personal tanto en la operación, mantenimiento de la planta de tratamiento de agua potable, como en el desarrollo de la evaluación de prueba de jarras y utilización de los equipos de medición.
- Dentro de todas las unidades y canales se deberán incluir una ventana de inspección y un espacio suficiente para el ingreso del personal con el objetivo de realizar la respectiva inspección, limpieza y mantenimiento de la unidad de ser el caso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LENNTECH. Historia del tratamiento de agua potable: Lenntech. *Lenntech web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 16 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/2NGizuL>.
2. BIOPLAST DEPURACION. John Gibbs: Primer suministro de agua potable a una ciudad: Bioplast Depuración. *Bioplast Depuración web site*. [En línea] 13 de enero de 2017. [Citado el: 16 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/2nR1xym>.
3. DIMAS, E. Diseño de un plan de distribución del producto terminado de una empresa purificadora de agua. Caso de estudio Purificadora Arisma: Instituto Politécnico Nacional. *Instituto Politécnico Nacional. web site*. [En línea] Julio de 2010. [Citado el: 10 de setiembre de 2019.] <https://bit.ly/2IZsGqp>.
4. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Agua potable salubre y saneamiento básico en pro de la salud: Organización Mundial de la Salud. *Organización Mundial de la Salud web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 24 de junio de 2019.] <https://bit.ly/2Pj8pBx>.
5. BANCO MUNDIAL. Agua: Banco Mundial. *Banco Mundial web site*. [En línea] 01 de julio de 2019. [Citado el: 10 de septiembre de 2019.] <https://bit.ly/2EibwSC>.
6. SISTEMA DE LAS NACIONES UNIDAS EN EL PERÚ. Agenda 2030 y los ODS: Sistema de las Naciones Unidas en el Perú. *Sistema de las Naciones Unidas en el Perú web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 13 de septiembre de 2019.] <http://onu.org.pe/ods/>.
7. MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS. Política económica y social: Ministerio de Economía y Finanzas. *Ministerio de Economía y Finanzas web site*. [En línea] 04 de octubre de 2016. [Citado el: 12 de septiembre de 2019.] <https://bit.ly/2IZ9Sr8>.
8. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA. Abastecimiento de agua, saneamiento y salud: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 20 de agosto de 2019.] <https://bit.ly/2oPQ0jn>.
9. NIPPON.COM. Agua corriente de Japón: segura y de buen sabor: Nippon.com. *Nippon.com web site*. [En línea] 08 de febrero de 2017. [Citado el: 16 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/2IUSHqC>.

10. iAGUA. Inaugurada en México una planta de tratamiento de agua única en el mundo: lagua. *lagua web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 13 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/34B1O8o>.
11. AGENCIA CATALANA DEL AGUA. Estaciones de potabilización de agua: Agencia Catalana del Agua. *Agencia Catalana del Agua web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 20 de septiembre de 2019.] <https://bit.ly/2KbV49p>.
12. SUPERINTENDENCIA NACIONAL DE SERVICIO DE SANEAMIENTO. Empresas Prestadoras de Servicio: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento. *Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento web site*. [En línea] 2019. [Citado el: 15 de septiembre de 2019.] <https://www.sunass.gob.pe/websunass/index.php/eps/ubicacion>.
13. ORGANISMO TÉCNICO DE LA ADMINISTRACIÓN DE LOS SERVICIOS DE SANEAMIENTO. Régimen de Apoyo Transitorio: Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento. *Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 10 de octubre de 2019.] <http://www.otass.gob.pe/>.
14. ROSASCO, O. Abastecimiento, contaminación y problemática del agua en el Perú: Acadnacmedicina. *Acadnacmedicina web site*. [En línea] 2006. [Citado el: 16 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/2MQoBWj>.
15. SEDAPAL. Tratamiento de agua: Sedapal. *Sedapal web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 04 de septiembre de 2019.] <http://www.sedapal.com.pe/>.
16. OTASS. Entidades Prestadoras de Servicio de Saneamiento de Juliaca Informe final de evaluación 2013 - 2015: Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento. *Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 26 de agosto de 2019.] <https://bit.ly/2JXFzBx>.
17. LOZANO, W. y LOZANO, G. *Potabilización del agua: Principios de diseño, control de proceso y laboratorio*. Bogotá: s.n., 2015. 9789588957180.
18. ZAMBRANO, D. *Agua y saneamiento experiencia en el Perú*. Lima: Intermediate Technology Development Group, ITDG - Perú, 1997. ISBN 9972470083.

19. ARRIETA, J. Recomendaciones para diseño y optimización de Plantas de Tratamiento de Agua Potable, considerando aspectos de funcionalidad y durabilidad: Dialnet. *Dialnet web site*. [En línea] 30 de abril de 2019. [Citado el: 17 de octubre de 2019.] <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7047513>.
20. CRUZ, J. y SÁNCHEZ, M. Diagnóstico y optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Municipio de Miraflores - Boyacá. *Repository web site*. [En línea] 28 de Marzo de 2017. [Citado el: 20 de octubre de 2019.] <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14493/3/ARTICULO.pdf>.
21. SANCHEZ, S. y PEÑA, M. Propuesta para el mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Bituima, Cundimarca. *Academia web site*. [En línea] 2011. [Citado el: 15 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/2DG4yZS>.
22. FANDIÑO, J. y CAMARGO, C. Evaluación y optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Purificación en el departamento de Tolima. *Universidad Católica de Colombia web site*. [En línea] 2013. [Citado el: 2 de noviembre de 2019.] <https://bit.ly/38UZIDN>.
23. ARIZAGA, J. Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad de Vices. *Repository web site*. [En línea] 2016. [Citado el: 16 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/2C5yBKh>.
24. DIAZ, W. Evaluación y optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Tena en el Departamento de Cundimarca. *Repository web site*. [En línea] 2017. [Citado el: 16 de octubre de 2019.] https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14490/1/Trabajo_21.pdf.
25. RAIGOSO, N y HERNÁNDEZ, M. Diseño del plan de mejoramiento de la Planta de Potabilización del Acueducto Comunitario de la Veresa Agualinda Chiguaza. *Repository web site*. [En línea] 2018. [Citado el: 15 de noviembre de 2019.] <https://bit.ly/30erbw7>.
26. GARCIA, B. y CORREA, L. Diagnóstico y propuesta de mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de la Palma - Departamento Cundimarca - Colombia. *Ucatolica web site*. [En línea] 2018. [Citado el: 26 de noviembre de 2019.] <https://bit.ly/2DMT3zZ>.

27. HIGUERA, M y PARRA, J. Evaluación hidráulica de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del Municipio de Togüí - Boyacá. *Unipiloto web site*. [En línea] 2018. [Citado el: 28 de noviembre de 2019.] <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00004555.pdf>.
28. CORREGIDOR, C. y TORRES, M. Optimización del modelo de la PTAP del laboratorio de la Universidad Católica de Colombia. *Universidad Católica de Colombia web site*. [En línea] 20 de noviembre de 2018. [Citado el: 16 de diciembre de 2019.] <https://bit.ly/2Wydnf4>.
29. TROME. NOTICIAS: Trome. *Trome web site*. [En línea] 29 de mayo de 2020. [Citado el: 25 de junio de 2020.] <https://trome.pe/actualidad/nacional/mvcs-y-otass-buscan-optimizar-cinco-plantas-de-agua-potable-en-favor-de-169000-familias-coronavirus-en-peru-nnpp-noticia/?ref=tr>.
30. EL PERUANO. Autorizan transferencia financiera a favor de EMAPA CAÑETE S.A.: El Peruano. *Busquedas web site*. [En línea] 15 de noviembre de 2017. [Citado el: 1 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/3fiYzrh>.
31. EL PERUANO. Autorizan transderencia a favor de la EPS TACNA S.A.: El Peruano. *Busqueda web site*. [En línea] 15 de noviembre de 2017. [Citado el: 3 de septiembre de 2019.] <https://bit.ly/30hvrw7>.
32. SEACE. Ficha de selección: SEACE. *Prodapp2 web site*. [En línea] [Citado el: 26 de enero de 2020.] <https://bit.ly/2PgoiG9>.
33. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Constitución Política del Perú: Congreso. *Congreso de la República web site*. [En línea] septiembre de 2017. [Citado el: 26 de octubre de 2019.] <http://www.congreso.gob.pe/Docs/files/documentos/constitucionparte1993-12-09-2017.pdf>.
34. SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL. Ley General del Ambiente: SINIA. *SINIA web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 26 de agosto de 2019.] <https://sinia.minam.gob.pe/normas/ley-general-ambiente>.
35. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley de Recursos Hídricos: ANA. *Congreso de la República web site*. [En línea] 30 de marzo de 2009. [Citado el: 25 de agosto de 2019.] https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ley_29338_0_2.pdf.

36. DIRECCIÓN GENERAL DE SALUD AMBIENTAL DEL MINISTERIO DE SALUD. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano: DIGESA. *DIGESA web site*. [En línea] 2011. [Citado el: 1 de septiembre de 2019.] http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf.
37. SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN AMBIENTAL. Estándares de Calidad Ambiental: SINIA. *SINIA web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 05 de octubre de 2019.] <https://sinia.minam.gob.pe/normas/estandares-calidad-ambiental>.
38. CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS AMBIENTALES. CEPIS: Cepis. [En línea] s.f. [Citado el: 3 de septiembre de 2019.] <http://cepis.org.pe/>.
39. CARBAJAL, Á. y GONZÁLEZ, M. Propiedades y funciones biológicas del agua: Universidad Complutense de Madrid. *Universidad Complutense de Madrid web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 20 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/2WTcUTB>. ISBN 978-84-00-09572-7.
40. EL PERUANO. Ley N°29338 Ley de Recursos Hídricos: Diario Oficial el Peruano. *Diario Oficial el Peruano web site*. [En línea] 31 de marzo de 2009. [Citado el: 23 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/32mN2k1>.
41. JUMAPAM. Distribución de Agua en el Planeta: Jumapam. *Jumapam Web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 20 de Octubre de 2019.] <https://bit.ly/32l4gOM>.
42. ANA. El Agua en cifras: ANA. *ANA web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 15 de septiembre de 2019.] <https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>.
43. CEMDA. El agua en México: CEMDA. *CEMDA web site*. [En línea] 2006. [Citado el: 25 de septiembre de 2019.] <https://bit.ly/2O2agqL>.
44. CUADRA, J. Importancia del agua para el planeta y el ser humano: Ecología verde. *Ecología verde web site*. [En línea] 12 de abril de 2018. [Citado el: 10 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/32mZYX7>.
45. FERNÁNDEZ, A. El agua: un recurso esencial: QuímicaViva. *QuímicaViva web site*. [En línea] diciembre de 2012. [Citado el: 10 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/36JzeDN>. 16667948.

46. ERCILIO, F. y otros. Desafíos del derecho humano al agua en el Perú: Alternativa. *Alternativa web site*. [En línea] octubre de 2005. [Citado el: 10 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/32ms44J>.
47. AQUINO, P. Calidad del agua en el Perú: DAR. *DAR web site*. [En línea] junio de 2017. [Citado el: 15 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/34ONgCn>. 9786124210501.
48. DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE NACIONES UNIDAS. Calidad del agua: Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas. *Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas web site*. [En línea] 22 de octubre de 2014. [Citado el: 10 de septiembre de 2019.] <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>.
49. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Calidad del agua potable: Organización Mundial de la Salud. *Organización Mundial de la Salud web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 16 de septiembre de 2019.] https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/es/.
50. SUNASS. Análisis de la calidad del agua potable en las empresas prestadoras del Perú: 1995 - 2003: Sunass. *Sunass web site*. [En línea] 2017. [Citado el: 16 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/2PZAyF>. 997225111X.
51. PERÚ 21. Más de 7 millones de peruanos no cuentan con agua potable: Perú 21. *Perú 21 web site*. [En línea] 14 de febrero de 2019. [Citado el: 10 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/33tq7Vt>.
52. EL PERUANO. La calidad de agua: Diario Oficial el Peruano. *Diario Oficial el Peruano web site*. [En línea] 13 de abril de 2018. [Citado el: 05 de septiembre de 2019.] <https://elperuano.pe/noticia-la-calidad-agua-65562.aspx>.
53. GARCÍA, A. Qué es el agua potable y sus características: Ecología verde. *Ecología verde web site*. [En línea] 05 de septiembre de 2019. [Citado el: 20 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/2CtefXD>.
54. BARRENECHEA, A. *Aspectos fisicoquímicos de la Calidad del Agua*. Lima: s.n., 2004.
55. DE VARGAS, L. *Procesos unitarios y plantas de tratamiento*. Lima: CEPIS, 2004.
56. GLYNN, H. y HEINKE, G. *Ingeniería Ambiental*. México: PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA, S.A., 1999. ISBN: 970-17-0266-2.

57. Academia. NORMA OS.030: El Peruano. *Academia web site*. [En línea] 23 de mayo de 2006. [Citado el: 17 de octubre de 2019.] <https://bit.ly/3fplocU>.
58. MALDONADO, V. *Sedimentación*. Lima: CEPIS, 2004.
59. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. Norma OS.020 Plantas de Tratamiento de Agua para Consumo Humano: Vivienda. *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento web site*. [En línea] [Citado el: 16 de octubre de 2019.] http://ww3.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE_Actualizado_Solo_Saneamiento.pdf.
60. CEPIS/OPS. *Casa de Química*. Lima: CEPIS, 2004.
61. BARRENECHEA, A. *Coagulación*. Lima: CEPIS, 2004.
62. CEPIS/OPS. *Diseno de plantas de tecnología apropiada - mezcladores*. Lima: CEPIS, 2004.
63. DE VARGAS, L. *Mezcla rápida*. Lima: CEPIS, 2004.
64. DE VARGAS, L. *Floculación*. Lima: CEPIS, 2004.
65. CEPIS/OPS. *Diseño de plantas de tecnología apropiada - floculdaores*. Lima: CEPIS, 2004.
66. CEPIS/OPS.. *Diseño de plantas de tecnología apropiada - decantadores laminares*. Lima: CEPIS, 2004.
67. MALDONADO, V. *Filtración*. Lima: CEPIS, 2004.
68. CEPIS/OPS. *Diseño de plantas de tecnología apropiada - batería de filtros de tasa declinante y lavado mutuo*. Lima: CEPIS, 2004.
69. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. Norma OS.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales: Vivienda. *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento web site*. [En línea] [Citado el: 16 de octubre de 2019.] http://ww3.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE_Actualizado_Solo_Saneamiento.pdf.
70. CONCEPTO.DE. Agua potable. *Concepto.de web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 26 de octubre de 2019.] <https://concepto.de/agua-potable/>.

71. CALDERON, J. y ALZAMORA, L. *Metodología de la investigación científica en postgrado*. Lima: s.n., 2010.
72. SABINO, C. El Proceso de la investigación: Páginas ufm. *Paginas ufm web site*. [En línea] 1992. [Citado el: 16 de enero de 2020.] http://paginas.ufm.edu/sabino/ingles/book/proceso_investigacion.pdf.
73. BAENA, G. *Metodología de la investigación*. México: Patria, 2014. ISBN/978-607-744-003-1.
74. MEJÍA, E. Metodología de la investigación científica: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos web site*. [En línea] 15 de marzo de 2008. [Citado el: 15 de noviembre de 2020.] ISBN/9972-46-285-4.
75. EPS AGUAS DEL ALTIPLANO S.R.L. Expediente Técnico de Mejoramiento y Ampliación de Agua Potable en la ciudad de Ayaviri: EPS Aguas del Altiplano S.R.L. *EPS Aguas del Altiplano S.R.L. web site*. [En línea] mayo de 2006. [Citado el: 26 de agosto de 2019.]
76. DB CITY.COM. Información Ayaviri: DB City.com. *DB City.com web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 26 de enero de 2019.] <https://es.db-city.com/Per%C3%BA--Puno--Melgar--Ayaviri>.
77. SISTEMA ELECTRÓNICO DE CONTRATACIONES DEL ESTADO. Proceso programados para el año 2006 del Departamento de Puno. *SEACE web site*. [En línea] 2006. [Citado el: 05 de enero de 2019.] <https://bit.ly/36s9CgG>.
78. SENAMHI. SENAMHI. *Senamhi web site*. [En línea] s.f. [Citado el: 30 de octubre de 2020.] <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-meteorologico>.
79. EPS AGUAS ALTIPLANO S.R.L. Plan Maestro optimizado: EPS AGUAS ALTIPLANO S.R.L. *EPS AGUAS ALTIPLANO S.R.L. web site*. [En línea] mayo de 2009. [Citado el: 26 de agosto de 2019.].
80. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Inventario de Fuentes de Aguas Superficiales en la Cuenca del Río Ramis: SIAR. *Sistema de Información Ambiental Regional SIAR web site*. [En línea] agosto de 2008. [Citado el: 30 de octubre de 2020.].

ANEXOS

Anexo N° 01. Lista de EPSs de Saneamiento.

Actualizado al 03.09.2018		EMPRESAS PRESTADORAS DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO				
ORD.	EMPRESA	PRESIDENTE JUNTA Y/O DIRECTORIO	GERENTE GENERAL	DIRECCION / Horario	AMBITO DE ACCION	LINK DE PÁGINA WEB
1	EMUSAP S.R.L. R.S. 021/95 20-Feb-95	PROF. DIÓGENES ZAVALETA TENORIO Presidente Junta Gral. De Socios	ING. CARLOS ALBERTO MESTANZA IBERICO www.emusap.com. pe	Jr. Piura 875 Chachapoyas - Amazonas De 08:00 a 13:00 y de 14:30 a 17:00 horas	AMAZONAS CHACHAPOYAS - CHACHAPOYAS	http://www.emusap.com.pe/
2	EMAPAB S.A. R. S. 058/95 27/04/1995	Sr. WILLIAM SEGURA VARGAS Presidente Junta General de Socios	ING. LUIS SACARÍAS NUÑEZ TERAN	Jr. San Pedro No. 297 Bagua Amazonas De 08:00 a 13:00 y de 15:00 a 18:00 horas	AMAZONAS BAGUA - BAGUA	http://www.emapab.com/
3	EPSSMU S.A. R. S. 057/95 27/04/1995	WILLIAM ZUMAETA LUCERO Presidente Junta Gral. de Socios	ING. FRANCISCO CRUZ CASTILLO eps- epssmu@hotmail.co m	Jr. Jorge Chávez N° 472 Bagua Grande - Utcubamba Amazonas De 08:00 a 13:00 y de 15:00 a 18:00 horas	AMAZONAS UTCUBAMBA - BAGUA GRANDE	NO TIENE
4	EPS CHAVIN S.A. R. S. 040/95 13/03/1995	ALBERTO ESPINOZA CERRÓN Presidente Junta Gral. De Accionistas o de Socios Abog. DEMETRIO MOISÉS ORDEANO VARGAS Presidente del Directorio	ING. JULIO CESAR CORAL JAMANCA www.epschavin.co m	Av. Diego Ferrer s/n Soledad Alta Huaráz Ancash De 08:00 a 13:00 y de 15:00 a 17:15 horas	ANCASH AIJA - AIJA BOLOGNESI - CHIQUIAN HUAYLAS - CARAZ HUARAZ - HUARAZ	http://www.epschavin.com/
5	SEDACHIMB OTE S.A. R. S. 020/95 20/02/1995	ABOG. DELIA VICTORIA ESPINOZA GARCIA Presidente Junta Gral. De Accionistas Ing. MANUEL LIZANDRO BAMBARÉN MIASTA Presidente del Directorio	Ing. LUIS ENRIQUE TAPIA VENTURO www.sedachimbote .com	Jr. La Caleta N° 146-176 Chimbote - Ancash De 08:00 a 13:00 y de 14:00 a 16:30 horas	ANCASH SANTA - CHIMBOTE SANTA - NUEVO CHIMBOTE HUARMEY - HUARMEY CASMA - CASMA	http://www.sedachimbote.com.pe/
6	EPS EMAPICA S.A. R.S. 087/96 30-abr-96 Régimen de Apoyo Transitorio- OTASS	Presidente Junta Gral. De Accionistas ENRIQUE MONTENEGRO MARCELO Presidente del Directorio	ECON. JUAN CARLOS BARANDIARÁN ROJAS Gerente General / Coordinador OTASS - RAT www.emapica.gob. pe	Calle Castrovirreyna No. 487 Ica De 07:30 a 13:00 y de 13:45 a 16:15 horas	ICA ICA - ICA PALPA - PALPA	http://www.emapica.com.pe/

7	SEDA AYACUCHO S.A. R. S. 032/95 03/03/1995	SALOMON HUGO AEDO MENDOZA Presidente Junta Gral. De Accionistas ING. WALTER HUMBERTO ASCARZA OLIVARES	ING. CESAR RAUL PALACIOS SULCA www.epsasa.com.p e	Manco Cápac No. 342, Ayacucho, Huamanga De 07:45 a 12:45 y de 15:00 a 17:45 horas	AYACUCHO HUAMANGA - AYACUCHO HUANTA - HUANTA	http://www.sedaayacucho.pe/
8	SEMAPA BARRANCA S.A. R.S. 171/95 06-nov-95 Régimen de Apoyo Transitorio- OTASS	ING. JOSE ELGAR MARREROS SAUCEDO Presidente Junta Gral. de Accionistas Ing. GILMAR AUGUSTO LIZAMA PUELLES Presidente del Directorio	ING. CARLOS ROBERTO CASALINO URIBE Gerente General / Coordinador OTASS - RAT	Jr. Gálvez Nº 640 Barranca Lima De 08:00 a 13:00 y de 14:00 a 17:00 horas	LIMA BARRANCA - BARRANCA	http://www.semapabarranca.com/
9	EPS EMAQ S.R.LTDA. R. S. 042/95 13/03/1995	ECON. WILFREDO ALAGÓN MORA Presidente Junta Gral. de Accionistas	ING. EDGAR ROLANDO ZAMALLOA BENDEZÚ www.epsemaq.com	Av. Nicanor Larrea s/n Santa Ana - Quillabamba La Convención - Cusco De 07:30 a 17:30 horas	CUSCO LA CONVENCIÓN - SANTA ANA (QUILLABAMBA)	http://www.epsemaq.com/
10	EPS AGUAS DE LIMA NORTE S.A. (antes Emapa Huacho S.A.) R.S. 189/95 07-dic-95	LIC. JORGE HUMBERTO BARBA MITRANE Presidente Junta Gral. De Accionistas ING. MANUEL HUGO ISIQUE BARRERA Presidente del Directorio	ING. JOSÉ ELOY MAGUIÑA ALZAMORA www.emapahuacho.com.pe	Av. Puquio Cano s/n 5ta. Cdra. Hualmay - Huacho De 08:00 a 12:30 y de 15:00 a 18:00 horas Oll - Joan Balarezo 997629319 Secret. Sra. Liliana Sánchez 980060025		http://www.emapahuacho.com/portal/index.php
11	EMAPA HUARAL S. A. R.S. 001/96 03/01/1996 Régimen de Apoyo Transitorio- OTASS	Presidente Junta Gral. De Accionistas Presidente del Directorio	MAG. ISAC ARIAS HOYOS Gerente General / Coordinador OTASS - RAT	Av. Huando s/n - Planta de Tratamiento - Huaral De 07:45 a 12:30 y de 15:00 a 18:00 horas	LIMA HUARAL - HUARAL	http://www.emapahuaral.com/
12	EPS MARAÑÓN S.R.L. R. S. 052/95 19/04/1995	WALTER PRIETO MAYTRE Presidente Junta Gral. de Socios	ECON. ROBERTO ALONSO ENRIQUEZ CALDERÓN	Mariscal Ureta No. 1912 Jaén Cajamarca De 08:00 a 13:00 y de 14:00 a 16:00 horas	CAJAMARCA JAEN - JAEN	http://epsmaranon.com.pe/
13	EPS MOYOBAMBA S.R.LTDA. R. S. 033/95 03/03/1995 Régimen de Apoyo Transitorio- OTASS	Presidente Junta Gral. de Socios	LIC. VÍCTOR DAVID PONCE ZENTENO Gerente General / Coordinador OTASS - RAT www.epsmoyobamba.com.pe	Calle San Lucas Cdra. 1, Mz. X Urb. Vista Alegre - Moyobamba San Martín De 07:45 a 13:00 y de 14:30 a 17:00 horas	SAN MARTIN MOYOBAMBA - MOYOBAMBA	http://www.epsmoyobamba.com.pe/

14	EMAPA SAN MARTIN S.A. R. S. 034/95 03/03/1995 Régimen de Apoyo Transitorio-OTASS	Presidente Junta General de Accionistas ING. KUOLLING RUIZ DILLON Presidente del Directorio	ING. MARÍA ISABEL GARCÍA HIDALGO www.emapasanmartin.com	Jr. Federico Sánchez 900 Planta de Agua Potable -Tarapoto San Martín De 07:30 a 12:30 y de 15:00 a 18:00 horas	SAN MARTIN SAN MARTIN - TARAPOTO LAMAS - LAMAS EL DORADO - SAN JOSÉ DE SISA HUALLAGA - SAPOSOA BELLAVISTA - BELLAVISTA	http://www.emapasanmartin.com/
15	EPS TACNA S.A. R. S. 035/95 03/03/1995	LUIS RAMON TORRES ROBLEDO Presidente Junta General de Accionistas ING. CÉSAR URTIAGA ORTIZ Presidente del Directorio	ABOG. EDUARDO PEREZ MALDONADO www.epstacna.com.pe	Av. Dos de Mayo No. 372 Tacna De 07:30 a 13:00 y de 14:00 a 16:30 horas	TACNA TACNA - TACNA JORGE BASADRE - LOCUMBA	http://www.epstacna.com.pe/eps-pw/
16	EPS ATUSA	LIC. OSCAR EDUARDO GÓMEZ DUQUE Presidente del Directorio	ING. NICANOR VEGA MAESTRE www.aguasdetumbes.com	Av. José Jiménez N° 341 Barrio Buenos Aires - El Milagro Tumbes De 07:30 a 13:00 y de 14:30 a 18:36 horas	TUMBES TUMBES - TUMBES CONTRALMIRANTE VILLAR - ZORRITOS ZARUMILLA - ZARUMILLA	http://www.aguasdetumbes.com/index.php/es/
17	EMAPAVIGS SAC R. S. 039/95 13/03/1995 Régimen de Apoyo Transitorio-OTASS	Presidente Junta Geral. de Accionistas ING. ENRIQUE MONTENEGRO MARCELO Presidente del Directorio	ING. JUAN RAMIRO VALDERRAMA LLERENA Gerente General / Coordinador OTASS - RAT	Av. La Cultura 509 - 511 Nazca - Ica De 07:30 a 14:45 horas - Corrido Verano De 08:00 a 13:00 y de 14:00 a 16:45 horas	ICA NASCA - NASCA	http://emapavigssa.com/
18	EMAPACOP S.A. R. S. 010/95 20/02/1995	Presidente de la Junta Gral. De Accionistas ING. JACINTO SANTIAGO ALVARADO RUBINA Presidente del Directorio	ING. ARTURO DANIEL COLCHADO BOLÍVAR www.emapacopsa.com.pe	Julio C. Arana 433 Coronel Portillo - Pucallpa Ucayali De 07:30 a 12:30 y de 14:30 a 17:30 horas Sec. Sra. Martha	UCAYALI CORONEL PORTILLO - PUCALLPA	http://www.emapacopsa.com.pe/
19	EMAPA CAÑETE S.A. R. S. 022/95 20/02/1995	ALEXANDER JULIO BAZÁN GUZMAN Presidente Junta de Accionistas ECON. OBDULIO MISAEL RODRIGUEZ GALLO Presidente del Directorio	CPC ANGEL FELIPE SANCHEZ SANCHEZ	Mariscal Benavides 1165 (frente a Sodimac) San Vicente de Cañete De 08:00 a 12:30 y de 14:00 a 17:30 horas Direc. Mun. Distrito Imperial: 28 de Julio N° 325	LIMA CAÑETE - SAN VICENTE DE CAÑETE	http://www.emapac.com/
20	EPSSEL S.A. R. S. 019/95 20/02/1995 Régimen de Apoyo Transitorio-OTASS	Presidente Junta de Accionistas Presidente del Directorio	Gerente General / Coordinador OTASS - RAT www.epssel.com.pe	Av. Carlos Castañeda Iparraguirre N° 100 - Planta de Tratamiento A.P. Chiclayo - Lambayeque De 08:30 a 12:30 y de 13:30 a 16:30 horas	LAMBAYEQUE CHICLAYO - CHICLAYO FERREÑAFE - FERREÑAFE LAMBAYEQUE - LAMBAYEQUE	http://www.epssel.com.pe/Presentacion/Default.aspx

21	EMAPA PASCO S. A. R. S. 028/95 28/02/1995	RUDY CALLUPE GORA Presidente Junta General de Accionistas ING. JUAN JOSE CAMAC CRUZ Presidente del Directorio	ING. JULIO CAYETANO CAJAHUAMAN QUISPE	Centro Comercial - Edif. N° 5, Dpto. 2 San Juan Pampa Cerro de Pasco De 08:00 a 12:30 y de 14:00 a 18:00 horas	PASCO CERRO DE PASCO - CERRO DE PASCO	NO TIENE
22	EPS EMAPAT S.A. R. S. 09/95 20/02/1995	NORMA ANCCO Presidente Junta Gral. de Socios ABOG. LUZ MARINA ALMANZA HUAMÁN Presidente del Directorio	CPC. JUAN RAMÓN CUBA VERA www.emapat.com.pe	Av. Ernesto Rivero No. 782 Tambopata - Puerto Maldonado Madre de Dios De 07:00 a 15:00 horas - Corrido	MADRE DE DIOS TAMBOPATA - PUERTO MALDONADO	http://www.emapat.com.pe/eps-pw3/
23	EPS MOQUEGUA S.A. R. S. 011/95 20/02/1995 Régimen de Apoyo Transitorio-OTASS	Presidente Junta Gral. de Accionistas Presidente del Directorio	ING. JUAN DE DIOS MANRIQUE REYES Gerente General / Coordinador OTASS - RAT www.epsmoquegua.com.pe	Calle Ilo No. 653 Mariscal Nieto - Moquegua De 07:30 a 12:30 y de 13:15 a 15:45 horas	MOQUEGUA MARISCAL NIETO - MOQUEGUA	http://190.117.221.25:8081/eps-pw/index.php
24	EMAPISCO S. A. R. S. 027/95 28/02/1995 Régimen de Apoyo Transitorio-OTASS	Presidente Junta Gral. de Accionistas Presidente del Directorio	ING. VICTOR JULIO MOTTA VERA Gerente General / Coordinador OTASS - RAT	Av. Fermin Tanguis s/n cdra. 3 Reservorio R-1 Pisco De 08:00 a 13:00 y de 14:00 a 17:00 horas	ICA PISCO - PISCO	http://emapisco.com/
25	EMSAPUNO S. A. R. S. 016/95 20/02/1995	Lic. IVAN JOEL FLORES QUISPE Presidente Junta Gral. De Socios ABOG. JULIO ADOLFO IRURI DÁVILA Presidente del Directorio	ING. JESÚS EXCELMES LOZA www.emsapuno.com.pe	Av. La Torre No. 573 Puno De 07:30 a 17:00 horas - Corrido	PUNO PUNO - PUNO CHUCUITO - JULI EL COLLAO - ILAVE CHUCUITO - DESAGUADERO	http://www.emsapuno.com.pe/in/
26	EPS ILO S.A. R. S. 012/95 20/02/1995 Régimen de Apoyo Transitorio-OTASS	Presidente Junta Gral. De Accionistas ING. CRISTIAN ROSALES ALVARADO Presidente del Directorio	ING. DANTE MORMONTOY GONZALES Gerente General / Coordinador OTASS - RAT www.epsilo.com.pe	Av. Miramar Mz. "C" s/n Parte Prima (Reservorio Miramar)- Ilo De 07:45 a 12:00 y de 12:45 a 16:30 horas	MOQUEGUA ILO - ILO	http://www.epsilo.com.pe/
27	SEDA HUANUCO S.A. R. S. 08/95 20/02/1995	ABOG. ANIBAL SOLORIZANO PONCE Presidente Junta Gral. De Accionistas ING. ENCISO GUTIÉRREZ Presidente del Directorio	LIC. JOSE LUIS GARCÍA CARDICH www.sedahuanucos.com	Jr. Damaso Beraún No. 545 Huánuco De 08:00 a 13:00 y de 15:00 a 18:00 horas	HUANUCO HUÁNUCO - HUÁNUCO LEONCIO PRADO - RUPA RUPA (TINGO MARÍA) LEONCIO PRADO - CRESPO Y CASTILLO (AUCAYACU)	http://www.sedahuanuco.com/

28	<p>EPS SEDAJULIACA S.A. R. S. 018/95 20/02/1995</p>	<p>LIC. OSWALDO MARIN QUIRO Presidente Junta Gral. Accionistas ING. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CÁRDENAS Presidente del Directorio</p>	<p>ING. JACK TICONA COAQUIRA www.sedajuliaca.com</p>	<p>Jr. Mariano Pandia N° 383, Urb. Residencial La Rinconada Juliaca - Puno De 08:00 a 12:00 y de 13:00 a 16:00 horas</p>	<p>PUNO SAN ROMAN - JULIACA</p>	<p>http://www.sedajuliaca.com/</p>
29	<p>EPS SEDALORETO S.A. R. S. 017/95 20/02/1995</p>	<p>Presidente Junta Gral. De Accionistas ING. JOSÉ ANTONIO BUSTAMANTE ZAMALLOA Presidente del Directorio</p>	<p>ING. EVER GARCIA RODRIGUEZ</p>	<p>Av. Guardia Civil 1260 Pampa Chica, Iquitos-Loreto De 07:30 a 14:45 horas - Corrido Oll Jaime Flores Tuanama</p>	<p>LORETO MAYNAS - IQUITOS ALTO AMAZONAS - YURIMAGUAS REQUENA - REQUENA</p>	<p>http://www.sedaloreto.com.pe/</p>
30	<p>EMAPA HUANCVELICA S.A.C. R. S. 043/95 17/03/1995</p>	<p>ARQ. JULIO CESAR CHUMBES CARBAJAL Presidente Junta Gral. De Accionistas MAG. ECON. SATURNINO MARCIAL PÉREZ BERNAOLA Presidente del Directorio</p>	<p>ECON. JOSÉ PACHECO BARRANCA</p>	<p>Av. Celestino Manchego Muñóz No. 329 Huancavelica De 08:00 a 13:00 y de 14:30 a 17:30 horas</p>	<p>HUANCVELICA HUANCVELICA - HUANCVELICA</p>	<p>http://www.emapahvca.com/</p>
31	<p>SEDALIB S.A. R. S. 013/95 20/02/1995</p>	<p>CRNEL-R-ELIDIO ESPINOZA QUISPE Presidente Junta Gral. De Accionistas SRA. ANA TEREZA FERNÁNDEZ GIL Presidente del Directorio</p>	<p>ING. JUAN AUDELIO LOZANO CABRERA www.sedalib.com.pe</p>	<p>Av. Federico Villarreal N° 1300 Semirústica El Bosque Los Sapitos Trujillo - La Libertad De 08:00 a 13:00 y de 14:00 a 17:00 horas</p>	<p>LA LIBERTAD TRUJILLO (Trujillo, La Esperanza, Florencia de Mora, El Porvenir, Huanchaco, Moche, Salaverry) CHEPEN (Chepén, Pacanguia) ASCOPE (Chocope, Paiján, Puerto Malabrigo)</p>	<p>http://www.sedalib.com.pe/</p>
32	<p>SEDACAJ S.A. R. S. 038/95 13/03/1995</p>	<p>DR. MANUEL ANTENOR BECERRA VÍLCHEZ Presidente Junta Gral. De Accionistas ING. LUIS GUERRERO FIGUEROA Presidente del Directorio</p>	<p>ING. JORGE LINO GUTIÉRREZ www.sedacaj.com.pe</p>	<p>Jr. Cruz de Piedra 150 - Barrio Cumbemayo Cajamarca De 07:45 a 13:00 y de 15:00 a 17:00 horas</p>	<p>CAJAMARCA CAJAMARCA - CAJAMARCA CONTUMAZÁ - CONTUMAZÁ SAN MIGUEL - SAN MIGUEL DE PALLAQUES</p>	<p>http://www.sedacaj.com.pe/</p>

33	SEDAPAR S.A. R. S. 025/95 28/02/1995	Presidente Junta Gral. Accionistas ARMANDO LLAZA LOAYZA Presidente del Directorio	ING. JUAN CARLOS CORDOVA LIZÁRRAGA	Av. Virgen del Pilar No. 1701 Cercado Arequipa De 07:30 a 12:00 y de 13:00 a 15:30 horas Jr. La Arena y Zelaya s/n	AREQUIPA AREQUIPA - (Alto Selva Alegre, Cayma, Cerro Colorado, jacobó Hunter, Luis Bustamante y Rivero, Mariano Melgar, Miraflores, Paucarpata, Sabandía, Sachaca, Socabaya, Uchumayo, Yanahuara, La Joya, Tiabaya) CAMANA (Camaná, Samuel Pastor) CARAVELI (Caraveli, Atico, Chala, Yauca) CASTILLA (Castilla, Huancarqui) CAYLLOMA (Caylloma) CONDESUYOS (Condesuyos) ISLAY (Islay, Matarani, Mejía, Punta de Bombón, Cacachacra, Dean Valdivia) LA UNION (La Unión, Cotahuasi)	https://sedapar.com.pe/
34	EPS GRAU S.A. R. S. 036/95 03/03/1995	JUAN CARLO MELÉNDEZ CALVO Presidente de la Junta de Acreedores ABOG. JAVIER BOYER MERINO Presidente del Directorio	ECON. ROBERTO SANDOVAL MAZA www.epsgrau.com.pe	Urb. Santa Ana Piura De 07:45 a 13:00 y de 14:15 a 17:00 horas	PIURA PIURA (Piura, Castilla, Catacaos, Las Lomas) MORROPON (Chulucanas, Morropón) SULLANA (Sullana, Bellavista, Marcavelica, Salitral, Querecotillo, Lancones) TALARA (Talara, Negritos, El Alto, Los Órganos, Máncora) PAITA (Paita, colán, Pueblo Nuevo de Colán, El Arenal, Yacila, La Huaca, Viviate, Tamarindo, Amotape, Vichayal, El Tambo, Miramar)	http://www.epsgrau.com.pe/webpage/desktop/views/

35	EPS SEDA CUSCO S.A. R. S. 026/95 28/02/1995	DR. CARLOS MOSCOSO PEREA Presidente Junta Gral. De Accionistas ING. CESAR PANIAGUA CHACÓN Presidente del Directorio	ING. JOSÉ LUIS BECERRA SILVA www.sedacusco.com.pe	Plaza San Francisco 332 - 336 Cusco De 08:00 a 13:00 y de 13:45 a 16:55 horas	CUSCO CUSCO - CUSCO PAUCARTAMBO - PAUCARTAMBO	http://www.sedacusco.com/
36	EPS SEMAPACH S. A. R. S. 041/95 13.03.95 Régimen de Apoyo Transitorio-OTASS	Presidente Junta Empresarial ECON. FELIX HIPÓLITO BRAVO MONTOYA Presidente del Directorio	CPC. JUAN CARLOS BARANDIARÁN ROJAS Gerente General / Coordinador OTASS - RAT	Calle Rosario N° 248 Chincha Alta - Chincha - Ica De 08:00 a 13:00 y de 14:00 a 17:15 horas	ICA CHINCHA - CHINCHA ALTA CHINCHA - PUEBLO NUEVO CHINCHA - GROCIO PRADO CHINCHA - TAMBO DE MORA CHINCHA - CHINCHA BAJA CHINCHA - SUNAMPE CHINCHA - ALTO LARÁN	http://www.epssemapach.com.pe/
37	SEDAPAL R. S. 014/95 20/02/1995	JORGE LUIS BUSTAMANTE DAWSON Presidente del Directorio	ING. MICHAEL NAIL VEGA BALTODANO www.sedapal.com.pe	Autopista Ramiro Priale N° 210 La Atarjea - El Agustino (100 metros del Peaje) De 08:00 a 16:00 horas - Corrido	LIMA LIMA - DISTRITOS CALLAO - DISTRITOS	http://www.sedapal.com.pe/
38	EMAPA Y S.R.LTDA. R.S. 068/95 29-jun-95	ING. LEONARDO FAVIO CONCORI PILCO Presidente Junta Gral. de Socios	ING. JESUS HENRY RIVERA CAHUAYA	Jr. San Martín N° 123 - 2do. Piso Yunguyo - Puno De 08:00 a 13:00 y de 14:00 a 17:00 horas	PUNO YUNGUYO - YUNGUYO	http://emapayunguyo.com/
39	EPS SELVA CENTRAL S.A. R.S. 375-97 25-ago-97	ING. JUAN JOSE LUDENA ORIHUELA Presidente Junta Gral. de Accionistas MAG. LEONCIO UNTIVEROS VILA Presidente del Directorio	LIC. CARLOS IVÁN ALFORO VALDERRAMA	Psje. San Pedro 142 - 144 La Merced - Chanchamayo - Junin De 07:50 a 13:00 y de 14:30 a 18:30 horas Secretaria: Nora Romero	JUNIN Y PASCO JUNIN - CHANCHAMAYO LA MERCED JUNIN - CHANCHAMAYO - SAN RAMÓN JUNIN - CHANCHAMAYO - PICHANAQUI JUNIN - SATIPO - SATIPO PASCO - OXAPAMPA - OXAPAMPA PASCO - OXAPAMPA - VILLA RICA	NO TIENE
40	EPS EMPSSAPAL S.A. R.S.097-96 09/05/1996	LIC. MANUEL ZVIETCOVICH ÁLVAREZ Presidente Junta Gral. De Accionistas ING. JOSÉ MATEO SULLCA MEJIA Presidente del Directorio	ABOG. JUAN CARLOS ÁLVAREZ CCASA www.empssapal.com	Av. Confederación N° 556 Sicuani - Cusco De 08:00 a 12:30 y de 14:00 a 17:30 horas	CUSCO CANCHIS - SICUANI CHUMBIVILCAS - SANTO TOMÁS	NO TIENE

41	EPS SIERRA CENTRAL S.R.L R.S.319-96 17/12/1996	SR. LUIS ANTONIO PALOMINO CERRÓN Presidente Junta Gral. de Accionistas	SR. GERARDO VÍCTOR CAPARACHIN INGA	Jr. Huánuco N° 1072 - 1076 Tarma De 08:00 a 13:00 y de 15:00 a 18:00 horas	JUNIN TARMA - TARMA	NO TIENE
42	EPS EMSAP CHANKA S.C.R.L R.S.033-97 17/01/1997	NARCIZO CAMPOS TRUYENQUE Presidente Junta Gral. de Socios	ING. EDMUNDO ILICH SALAS REYNAGA	Jr. Mariano Melgar No. 484 Andahuaylas - Apurímac De 08:00 a 13:00 y de 14:30 a 18:00 horas	APURIMAC ANDAHUAYLAS - ANDAHUAYLAS	http://www.emsapchanka.com/
43	EPS MUNICIPAL MANTARO S.A. R.S.215-97 23/05/1997	ABOG. LUI ALBERTO BASTIDAS VASQUEZ Presidente Junta Gral. De Accionistas ABOG. JORGE LUIS OLIVERA RAMIREZ Presidente del Directorio	ING. DONALD BERRIOS MARTÍNEZ	Av. Huarancayo N° 481 Jauja De 08:00 a 13:00 y de 14:00 a 17:00 horas	JUNIN JAUJA - JAUJA CONCEPCION - CONCEPCIÓN HUANCAYO - SAN JERÓNIMO DE TUNÁN CHUPACA - CHUPACA	http://www.epsmantaro.com/
44	EPS NOR PUNO S.A. R.S.233-97 05/06/1997	ING. ISIDRO SOLORZANO PINAYA Presidente de la Junta General de Accionistas Presidente del Directorio	ING. ROGGER GREGPRIO TORRES PALLI	Jr. Manuel Nuñez Butrón N° 446 Azangaro - Puno De 07:15 a 12:30 y de 13:15 a 16:30 horas	PUNO AZÁNGARO - AZÁNGARO HUANCANÉ - HUANCANÉ	http://epsnorpuno.com/empresa/index.php
45	EMUSAP ABANCAY S.A.C. R.S.534-97 13/11/1997	SR. JOSÉ MANUEL CAMPOS CÉSPEDES Presidente Junta Gral. De Accionistas ING. JOSÉ DAVID PEREYRA BATALLANOS Presidente del Directorio	ING. ANTONIO RIVEROS SOTOMAYOR	Av. Prado Norte No. 404 Barrio La Victoria, Abancay - Apurímac De 07:15 a 15:15 horas - Corrido	APURIMAC ABANCAY - ABANCAY	EN CONSTRUCCION
46	EPS AGUAS DEL ALTIPLANO SRL.	ING. VICTOR JESUS HUALLPA QUISPE Presidente de Junta Empresarial	LIC. JEAN ROMMEL MAMANI CAMMA	Jr. Cusco N° 324 Ayaviri - Melgar - Puno De 08:00 a 12:30 y de 14:00 a 17:30 horas	PUNO MELGAR - AYAVIRI	http://www.epsaguasdeltiplano.com/
47	EMSAPA CALCA S.A.	LIC. GUIDO ÁLVAREZ CHÁVEZ Presidente Junta de Accionistas	ING. MAURO CORIMANYA ENRIQUEZ	Calle Bolognesi N° 555 - Calca De 08:00 a 13:00 y de 14:00 a 17:00 horas	CUSCO CALCA - CALCA	http://www.emsapacalca.com/empresa/objetivo/
48	EPS RIOJA S.A. (antes Sedapar S.R.L.)	QUIM. MERCEDES TORRES CHÁVEZ Presidente de la Junta Gral. De Socios	CPC. ERNESTO ANDRÉS TARAZONA RENGIFO	Jr. Santo Toribio N° 212, Rioja San Martín De 07:30 a 12:30 y de 14:15 a 17:15 horas	SAN MARTIN RIOJA - RIOJA	http://www.sedaparsrl.com/
49	SEDAM HUANCAYO S.A.	SR. ALCIDES CHAMORRO BALVÍN Presidente de la Junta Gral. De Accionistas ING. HUGO MIGUEL MIGUEL	LIC. ALEJANDRO AGUIRRE ROJAS www.sedamhuancayo.com.pe	Jr. Junín 987 Huancayo, Junín De 08:00 a 13:00 y de 15:00 a 18:00 horas	JUNIN HUANCAYO (Huancayo, Chilca, El Tambo, Huancán, Víques Huacrapuquio	http://www.sedamhuancayo.com.pe/site/

		Presidente del Directorio				
50	EMSAPA YAULI LA OROYA S.R.L.	SR. CARLOS ARREDONDO MAYTA Presidente de la Junta General de Socios	ING. APRONIANO PEÑA TOVAR	Jr. Tarma N° 275 La Oroya Antigua Yauli , Junín De 08:00 a 12:30 y de 14:00 a 18:00 horas	JUNIN YAULI - LA OROYA	NO TIENE

FUENTE:

GERENCIA DE USUARIOS

Anexo N° 02. Límites Máximos Permisibles para agua de consumo humano.

**LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS**

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0 (*)
2. E. Coli	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/mL a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helminths, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos.	N° org/L	0
6. Virus	UFC / mL	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estadios evolutivos	N° org/L	0

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubos múltiples = < 1,8 / 100 ml

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA

Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ ⁼ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoníaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeso	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

ANEXO N°03. Estándares de Calidad Ambiental para agua por categorías.

CATEGORÍA 1: POBLACIONAL Y RECREACIONAL.

SUBCATEGORÍA A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0.5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0.07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0.2	0.2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(µS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1.5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0.1	0.15	0.15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₂) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 8.5	5.5 – 9.0	5.5 - 9.0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0.9	5	5
Antimonio	mg/L	0.02	0.02	**
Arsénico	mg/L	0.01	0.01	0.15
Bario	mg/L	0.7	1	**
Berilio	mg/L	0.012	0.04	0.1
Boro	mg/L	2.4	2,4	2.4
Cadmio	mg/L	0.003	0.005	0.01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0.05	0.05	0.05
Hierro	mg/L	0.3	1	5
Manganeso	mg/L	0.4	0.4	0.5
Mercurio	mg/L	0.001	0.002	0.002
Molibdeno	mg/L	0.07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0.07	**	**
Plomo	mg/L	0.01	0.05	0.05

Selenio	mg/L	0.04	0.04	0.05
Uranio	mg/L	0.02	0.02	0.02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₆ - C ₃₀)	mg/L	0.01	0.2	1.0
Trihalometanos (e)		1.0	1.0	1.0
Bromoformo	mg/L	0.1	**	**
Cloroformo	mg/L	0.3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0.1	**	**
Bromodichlorometano	mg/L	0.06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0.2	0.2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0.03	**	**
1,2 Dicloroetano	mg/L	0.03	0.03	**
1,2 Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0.0006	0.0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0.04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0.004	0.004	**
Tricloroetano	mg/L	0.07	0.07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0.01	0.01	**
Etilbenceno	mg/L	0.3	0.3	**
Tolueno	mg/L	0.7	0.7	**
Xilenos	mg/L	0.5	0.5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0.0007	0.0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0.009	0.009	**
Organofosforados				
Malatión	mg/L	0.19	0.0001	**
Organoclorados				
Aldrín + Dieldrín	mg/L	0.00003	0.00003	**
Clordano	mg/L	0.0002	0.0002	**
Dicloro Difeníl Tricloroetano (DDT)	mg/L	0.001	0.001	**
Endrín	mg/L	0.0006	0.0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0.00003	0.00003	**
Lindano	mg/L	0.002	0.002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0.01	0.01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0.001	0.001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0.0005	0.0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	0	**	**
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃-).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N (NO₂-N), multiplicar el resultado por el factor 3.28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO₂-).

SUBCATEGORÍA B: Aguas superficiales destinadas para recreación.

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Bario	mg/L	0,7	**
Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

NOTA 2: UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad. NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml. El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría. Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

**CATEGORÍA 2: EXTRACCIÓN, CULTIVO Y OTRAS ACTIVIDADES MARINO
COSTERAS Y CONTINENALES.**

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoniaco Total (NH ₄)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃⁻-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

CATEGORÍA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES.

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ⁻ -N) + Nitritos (NO ₂ ⁻ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ⁻ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
<u>Bifenilos Policlorados</u>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
<u>Organoclorados</u>				

Aldrín	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrín	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

(a) : Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) : Después de filtración simple.

(c) : Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO.

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087

Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
(b) Después de la filtración simple.
(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO_3^- -N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO_3^-).
 Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Anexo N° 04. Cálculos para el diseño de la propuesta de la nueva PTAP.

A) Cálculo para el almacenamiento de sulfato de aluminio:

Paso	Dato	Unidad	Criterios	Cálculos	Resultados	Unidad
1	Dm = 20 DM = 40	mg/L mg/L	$D = \frac{(Dm + DM)}{2}$	$D = \left(\frac{20 + 40}{2} \right)$ $D = 30$	Dosis Promedio	mg/L
2	d = 964 T = 60 Q = 82 Q = 7089	kg / m ³ dias L / seg m ³ / día	$V = \frac{D \times T \times Q}{d \times 1000}$	$V = \left(\frac{30}{964} \right) \left(\frac{60}{1000} \right) (7089)$ $V = 13.24$	Volumen de almacenamiento requerido	m ³
3	H = 1.60	m	$A = \frac{V}{H}$	$A = \left(\frac{13.24}{1.60} \right)$ $A = 8.27$	Area neta de almacenamiento	m ²
4	N = 2 B = 1.10	m	$L = \frac{A}{(B \times N)}$	$L = \frac{8.27}{(1.10)(2)}$ $L = 3.76$ $L = 4.40$	Largo de la ruma o pila	m
5	d = 1.00	m	Ancho Total = N x B + e	Ancho = 2 x 1.10 + 3.0 Ancho = 5.20	Ancho total del almacén	m
	d' = 1.00	m	Largo = L + 2d	Largo = 4.4 + 2.0 Largo = 6.40	Largo total del almacén	m

B) Cálculo para el dosificador en solución:

Paso	Dato	Unidad	Criterios	Cálculos	Resultados	Unidad
1	Q = 82 D = 30 C = 1	lps mg / L %	$q = (Q \times D) / C$	$q = \left(\frac{82.05 \times 30}{10000} \right)$ $q = 0.246$ $q = 21.27$	Caudal de solución promedio requerido	lps m ³ / día
2	To = 5.6	hr	$V = q \times To$	$V = \left(\frac{21 \times 5.64}{24} \right)$ $V = 5.00$	Volumen tanque de solución	m ³
3			$P = Q \times D$	$P = 82.05 \times 30.0$ $P = 2462$ $P = 212.7$	Consumo de reactivo Consumo promedio diario	mg / seg kg / día
4			$Po = (P \times To) / 24$	$Po = \left(\frac{212.7 \times 5.6}{24} \right)$ $Po = 50.00$	Consumo por Tanque de solución	kg
5	DM = 40	mg / lt	$qM = Q \times DM / C$	$qM = 0.328$ 1182	Caudal maximo dosific.	lt/s lt/hr
	Dm = 20	mg / lt	$qm = Q \times Dm / C$	$qm = 0.164$ 591	Caudal minimo dosific.	lt/s lt/hr
6			$R = (qM - qm)$	$R = 1182 \sim 591$	Rango del dosificador	lt/hr
7	hu = 1.70 area = 2.94	m m ²	$a = (v / h)^{0.5}$	$a = 1.70$	Lado del tanque de solución	m
8	hl = 0.25	m	$Ht = hu + hl$	$Ht = 1.95$	Altura total	m

C) Cálculo de la unidad de mezcla rápida en un canal rectangular con cambio de pendiente:

PASO	DATOS	UNIDAD	CÁLCULOS	RESULTADOS	UNIDAD
1	Caudal de diseño $Q = 0.082$	m^3/s	$q = 0.091$	Caudal unitario	$m^3/s/m$
	Ancho $B = 0.90$	m			
2	$X = 0.65$	m	$\theta = 0.66$	Inclinación de la rampa	Radianes
	Altura $E_o = 0.50$	m	$\theta = 37.57$		Grados sexagesimales
3	Número de Froud tentativo $F = 8.188$		$K = 6.53$	Factor de resolución de la ecuación	Radianes
4			$\phi = 1.25$		Grados sexag.
			$\phi = 71.63$		
			$a = 10.92$	Relación de alturas antes y después del resalto	-
5			$d_1 = 0.023$	Altura antes del resalto	m
6			$h_1 = 0.03$	Profundidad antes resalto	m
7			$V_1 = 3.10$	Velocidad al inicio del resalto	m/s
8			$F = 5.78$	Número de Froud (comprobación)	
9			$h_2 = 0.25$	Profundidad después del resalto	m
10			$L = 1.35$	Longitud del resalto	m
11			$h_p = 0.38$	Pérdida de carga	m
12			" = 0.17	Volumen del resalto	m^3
13	$\sqrt{\gamma/\mu} = 2736.53$ $T = 10^\circ C$		$G = 1165$	Gradiente de velocidad	s^{-1}
14			$T = 2.10$	Tiempo de mezcla	s
15			$h = 0.04$	Grada al final del resalto	m
16			$h_3 = 0.13$	Altura de agua en el vertedero	m
17	$e = 0.05$	m	$N = 17.00$	Número de orificios en el difusor	unid
18	$d_o = 1/2$	pulgadas	$A_o = 0.0001$	Sección de los orificios	m^2
19	Dosis óptima promedio $D_p = 30$	mg/L	$q = 0.25$	Caudal promedio de la solución por aplicar	l / s
	$C = 1\% = 10000$	mg/L			
20			$V_o = 0.114$	Velocidad en los orificios	m/s
21	$R = 0.46$		$Vt = 0.25$	Velocidad en la tubería	m/s
22			$At = 0.0010$	Sección del difusor	m^2
23			$Dt = 1.40$	Diámetro del difusor	pulgadas
			$Dt = 1 1/2$	Diámetro corregido del difusor	pulgadas
24			$E_o + h_3 = 0.63$ $h_2 + h_p = 0.63$	Comprobación de igualdad	

D) Cálculo del floculador de pantallas de flujo vertical - primer tramo:

PASO	DATOS	SIMBOLO	UNID.	CRITERIO	CALCULO	RESULTADOS	UNID.
1	Caudal	$Q = 0.082$	m^3/seg	$V = 60QT$	$V = 96.19542$	Volumen total de la unidad	m^3
	Tiempo total de floculación	$T = 20$	min				
2	Longitud de la unidad	$L = 5.80$	m	$B = V/HL$	$B = 4.20$	Ancho total de la unidad	m
	Profundidad del floculador	$H = 3.95$	m				
3	Ancho del primer canal	$b = 0.90$	m	$t_1 = \frac{H L b}{60 Q}$	$t = 4.2$	Tiempo de retención del primer canal	min
4	Gradiente de velocidad en el primer tramo	$G = 64$	s^{-1}	$m = 0.045 \times 3 \sqrt{\left(\frac{b \times L \times G}{Q}\right)^2 \times t}$	$m = 18.00$	Número de comportamiento entre pantallas	N°
5	Espesor de las pantallas	$e = 0.04$	m	$a = \frac{L - e \times (m - 1)}{m}$	$a = 0.29$	Espaciamiento entre pantallas	m
6				$V_1 = \frac{Q}{a b}$	$V_1 = 0.32$	Velocidad en los canales	m/s
7				$V_2 = \frac{2}{3} V_1$	$V_2 = 0.21$	Velocidad en los pasajes	m/s
8				$P_2 = \frac{Q}{V_2 \times b_1}$	$P_2 = 0.43$	Altura de paso	m
9				$l_1 = 60 V_1 t_1$	$l = 80.2$	Extencion total del primer canal	m
10				$R_H = \frac{ab}{2(a+b)}$	$R_H = 0.11$	Radio hidráulico del compartimiento entre pantallas	m
11	Coefficiente de Mannig	$n = 0.01$	cte	$h_1 = l \left(\frac{n V_1}{R_H}\right)^2$	$h_1 = 0.02$	Perdida de carga continua en los canales	m
12				$h_2 = \frac{(m+1) \times V_1^2 + m \times V_2^2}{2g}$	$h_2 = 0.14$	Perdida de carga en la vueltas	m
13				$H_{f1} = h_1 + h_2$	$H_{f1} = 0.16$	Perdida de carga total en el primer tramo	m
14				$V_1 = H b L - e(m - 1)$	$v = 19.97$	Volumen del tramo	m^3
15	T: 10°C	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} = 2736.53$		$G_1 = \sqrt{\frac{\gamma Q h_f}{\mu V}}$	$G_1 = 71$	Comprobación del gradiente de velocidad total en el primer canal	s^{-1}
16	Coefficiente de Darcy	$f = 0.03$		$G_2 = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \left(\frac{1}{2 \times g}\right)^{0.5} \times \left(\frac{f}{4 \times R_H}\right)^{0.5} \times V_1^{1.5}$	$G_2 = 29$	Comprobación del gradiente de velocidad en el canal vertical	s^{-1}
	Aceleración de la gravedad	$g = 9.81$	m/s^2				

E) Cálculo del floculador de pantallas de flujo vertical - segundo tramo:

PASO	DATOS	SIMBOLO	UNID.	CRITERIO	CALCULO	RESULTADOS	UNID.
1	Caudal	Q = 0.082	m ³ /seg	$V = 60QT$	V = 96.20	Volumen total de la unidad	m ³
	Tiempo total de floculación	T = 20	min				
2	Longitud de la unidad	L = 5.80	m	$B = V/HL$	B = 4.20	Ancho total de la unidad	m
	Profundidad del floculador	H = 3.95	m				
3	Ancho del segundo canal	b = 1.20	m	$t_1 = \frac{H L b}{60 Q}$	t = 5.58	Tiempo de retención del Segundo canal	min
4	Gradiente de velocidad en el segundo tramo	G = 42	s ⁻¹	$m = 0.045 \times \sqrt[3]{\left(\frac{b \times L \times G}{Q}\right)^2 \times t}$	m = 18.00	Número de comportamiento entre pantallas	N°
5	Espesor de las pantallas	e = 0.04	m	$a = \frac{L - e \times (m - 1)}{m}$	a = 0.29	Espaciamiento entre pantallas	m
6				$V_1 = \frac{Q}{a b}$	V ₁ = 0.24	Velocidad en los canales	m/s
7				$V_2 = \frac{2}{3} V_1$	V ₂ = 0.16	Velocidad en los pasajes	m/s
8				$P_2 = \frac{Q}{V_2 \times b_1}$	P ₂ = 0.43	Altura de paso	m
9				$l_1 = 60 V_1 t_1$	l = 80.00	Extencion total del Segundo canal	m
10				$R_H = \frac{ab}{2(a+b)}$	R _H = 0.12	Radio hidráulico del compartimiento entre pantallas	m
11	Coefficiente de Mannig	n = 0.01	cte	$h_1 = l \left(\frac{n V_1}{R_H}\right)^2$	h ₁ = 0.01	Perdida de carga continua en los canales	m
12				$h_2 = \frac{(m+1) \times V_1^2 + m \times V_2^2}{2g}$	h ₂ = 0.08	Perdida de carga en la vueltas	m
13				$H_{f_1} = h_1 + h_2$	H _f = 0.09	Perdida de carga total en el segundo tramo	m
14				$V_1 = H b L - e(m - 1)$	v = 26.84	Volumen del tramo	m ³
15	T: 10°C	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} = 2736.53$		$G_1 = \sqrt{\frac{\gamma Q h_f}{\mu V}}$	G ₁ = 46	Comprobación del gradiente de velocidad total en el segundo	s ⁻¹
16	Coefficiente de Darcy	f = 0.03		$G_2 = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \left(\frac{1}{2 \times g}\right)^{0.5} \times \left(\frac{f}{4 \times R_H}\right)^{0.5} \times V_1^{1.5}$	G ₂ = 18	Comprobación del gradiente de velocidad en el canal vertical	s ⁻¹
	Aceleración de la gravedad	g = 9.81	m/s ²				

F) Cálculo del floculador de pantallas de flujo vertical - tercer tramo:

PASO	DATOS	SIMBOLO	UNID.	CRITERIO	CALCULO	RESULTADOS	UNID.
1	Caudal	Q = 0.082	m ³ /seg	$V = 60QT$	V = 96.20	Volumen total de la unidad	m ³
	Tiempo total de floculación	T = 20	min				
2	Longitud de la unidad	L = 5.80	m	$B = V/HL$	B = 4.20	Ancho total de la unidad	m
	Profundidad del floculador	H = 3.95	m				
3	Ancho del tercer canal	b = 2.10	m	$t_1 = \frac{H L b}{60 Q}$	t = 9.77	Tiempo de retención del tercer canal	min
4	Gradiente de velocidad en el ultimo tramo	G = 18	s ⁻¹	$m = 0.045 \times 3 \sqrt{\left(\frac{b \times L \times G}{Q}\right)^2 \times t}$	m = 18.00	Número de comportamiento entre pantallas	N°
5	Espesor de las pantallas	e = 0.04	m	$a = \frac{L - e \times (m - 1)}{m}$	a = 0.29	Espaciamiento entre pantallas	m
6				$V_1 = \frac{Q}{a b}$	V ₁ = 0.14	Velocidad en los canales	m/s
7				$V_2 = \frac{2}{5} V_1$	V ₂ = 0.09	Velocidad en los pasajes	m/s
8				$P_2 = \frac{Q}{V_2 \times b_1}$	P ₂ = 0.43	Altura de paso	m
9				$l_1 = 60 V_1 t_1$	l = 80.30	Extencion total del tercer canal	m
10				$R_H = \frac{ab}{2(a+b)}$	R _H = 0.13	Radio hidráulico del compartimiento entre pantallas	m
11				Coefficiente de Mannig	n = 0.01	cte	$h_1 = l \left(\frac{n V_1}{R_H}\right)^2$
12				$h_2 = \frac{(m+1) \times V_1^2 + m \times V_2^2}{2g}$	h ₂ = 0.03	Perdida de carga en la vueltas	m
13				$H_{f_1} = h_1 + h_2$	H _f = 0.03	Perdida de carga total en el tercer tramo	m
14				$V_1 = H b L - e(m - 1)$	v = 47.46	Volumen del tramo	m ³
15	T: 10°C	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} = 2736.53$		$G_1 = \sqrt{\frac{\gamma Q h_f}{\mu V}}$	G ₁ = 21	Comprobación del gradiente de velocidad total en el tercer canal	s ⁻¹
16	Coefficiente de Darcy	f = 0.03		$G_2 = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \times \left(\frac{1}{2 \times g}\right)^{0.5} \times \left(\frac{f}{4 \times R_H}\right)^{0.5} \times V_1^{1.5}$	G ₂ = 8	Comprobación del gradiente de velocidad en el canal vertical	s ⁻¹
	Aceleración de la gravedad	g = 9.81	m/s ²				

G) Dimensionamiento de un decantador de placas paralelas con canal central.

Paso	Datos	Cantidad	Und.	Criterios	Cálculos	Resultados	Unid.
1	Caudal	Q=	0.082	m ³ /s			
	Numero de decantadores	N=	3.00	unidad			
2	Separación de las placas en el plano horizontal	e'=	12	cm	d=e*senθ-e=	10.33	Espaciamiento perpendicular entre las placas
	Espesor de las placas	e=	0.06	cm			
	Angulo de inclinación de las placas	θ =	60				
3	Longitud del módulo de placas	l=	1.2	m	Lu=l-e*cosθ=	114.0	Longitud Util dentro de las placas
4	Caudal de diseño por decantador	Q=	0.027	m ³ /s	L=Lu / d =	11.0	Longitud relativa del módulo de placas
5	Velocidad de sedimentación de las partículas(laboratorio)	Vs=	0.0004	m/s	f=senθ*(senθ + Lcosθ)/s=	5.53	Coefficiente del Modulo de Placas
	Módulo de eficiencia de las placas	s=	1		As =Q / (f * Vs) =	12.37	Area superficial de la unidad
6	Ancho total neto de la zona de decantación	B=	2.40	m	N=As*senθ /(B*d)=	43	Número de canales formados por las placas
7					LT=l*cosθ+(N*d+(N+1)*e)/senθ =	5.80	Longitud total del Decantador
8					Vo=Q/(As*senθ) =	0.255	Velocidad media del flujo
9	Ancho del módulo de placas	b=	1.20	m	RH=b*d/(2*(b+d)) =	4.76	Radio hidráulico del módulo de placas
10	Viscosidad a 10 °C	v=	0.01	cm ² /s	NR=4RH *Vo / v =	372	Número de Reynolds
11					Vo' = (NR/8) ^{0.5} * Vs =	0.273	Velocidad Longitudinal Máxima

H) Dimensionamiento del canal central de distribución de agua floculada:

Paso	Datos	Cant.	Unid.	Criterios	Cálculos	Resultados	Unid.
1	Caudal de un decantador en condiciones normales de operación.	Q	0.027	m ³ /s	Qc = Q*1.5	0.041	Caudal del canal durante el mantenimiento de una unidad.
					Qc/2=Qd	0.021	Caudal de la mitad del canal
2	Velocidad en los orificios.(asumido)	VL	0.13	m/s	AT = Qd/ VL	0.158	Area total de orificios.
3	Separación centro a centro entre orificio (asumido)	a	0.30	m	N=(L-2D)/a+1	19	Número de orificios a cada lado del canal
	Distancia entre la pared y el primer orificio	D	0.20	m		19	
	Longitud del canal.	L	5.80	m			
				AL = AT / N	0.008	Area de cada orificio.	
4				d = (AL*4/pi) ^{0.5}	102.83	Diametro de los orificios	
					4.0	Diametro de los orificios	
5	Ancho del canal.(Asumido)	B	0.60	m	Af = B x h	0.360	Sección en el extremo final del canal.
	Altura mínima	h	0.60	m			
6				qo = Qd / N	0.0011	Caudal por orificio.	
7				Qf = 2qo	0.002	Caudal que llega al extremo final del canal	
8				Vf = Qf /Af	0.006	Velocidad en el extremo final del canal.	
9	Altura máxima del canal	H	1.80	m	Ac = B x H	1.08	Sección inicial del canal.
10				Vc = Qc / Ac	0.04	Velocidad en el extremo inicial	
11	Coeficientes experimentales	δ	0.70		beta i=	1.84	Coeficiente pérdida de carga total en primer orificio del canal
		Ø	1.67				
				beta f=	1.70	Coeficiente de pérdida de carga en el último orificio del canal.	
13	Del cuadro Nº1	Σ√1/β	14.49		VL1 =	0.13	Velocidad real en el primer orificio
		√1/β1	0.76				
		AL	0.008	m ²			
	Q' = Qc/2	Q'	0.021	m ³ /s			
14	Del cuadro Nº1				VL21 =	0.13	Velocidad real en el último orificio.
15					Desviacion=	1.02	Desviación de caudal entre el primer y el último orificio.

16	T = 10°C	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$	2736.53	$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \left(\frac{1}{2 * g} \right)^{0.5} * \left(\frac{f}{4 * R_H} \right)^{0.5} * VL^{1.5} =$	12.95	Gradiente de velocidad en los orificios	s ⁻¹
		f	0.020				
		RH	0.0250				
		g	9.810				

I) Cálculo del canal de distribución de agua floculada:

Paso	Datos	Cantidad	Unid	Criterio	Cálculos	Resultados	Unid	
1	Caudal	Q	0.082	m ³ /s	$q = (Q/N)$	0.027	Caudal ingreso a cada decantador	m ³ /s
2	Nº de Decantadores	N	3	unidad				
3	Ancho del Canal	B	1.00	m	$Af = Hf \times B$	0.60	Seccion final del canal	m ²
4	Altura Mínima	Hf	0.60	m				
5					$Vc = q/Af$	0.046	Velocidad en seccion final del canal	m ² /s
6	Velocidad en la Sección Inicial	Vi	0.05	m/s	$Ai = Q/Vi$	1.800	Seccion inicial del canal	m ²
					$Hi = Ai/B$	1.80	Altura inicial del canal	m
7	Velocidades en los Laterales	VL	0.23	m/s	$AL = q/VL$	0.12	Seccion util de las compuertas	m ²
		altura seccion	h	0.30	m	$b = AL/h$	0.40	Ancho de las compuertas
6	Coeficiente Experimentales de Hudson	δ	0.70		$B1 = 1 + \delta + \delta(Vc/VL)^2$	1.77	Coeficiente de perdida de carga en los orificios de las compuertas	cte.
		\emptyset	1.67					
7	Del cuadro Nº 2	$\sum \sqrt{1/\beta}$	2.26		$VL_1 = Qt / AL \times B1^{0.5} \times \sum (1/B^{0.5})$	0.230	Veloc real en la primera compuerta	m/s
8	Del cuadro Nº 2	β_3	1.77		$VL_3 = Qt / AL \times B3^{0.5} \times \sum (1/B^{0.5})$	0.230	Veloc.real en ultima compuerta	m/s
					$\delta = (VL_3 - VL_1) / VL_3$	0.0003	Desviación de caudal aceptable	
9					$hf = B_3 \times VL_3^2 / 2g$	0.005	Perdida de carga en la compuertas	m
10	Ancho seccion	b	0.40	m	$Rh = a \times b / (2 \times (a+b))$	0.09	Radio hidraulico de una compuerta	m
	Prof. Seccion	a	0.30	m				
11	T = 10°C	$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$	2736.53	$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \left(\frac{1}{2 * g} \right)^{0.5} \left(\frac{f}{4 * R_H} \right)^{0.5} VL^{1.5} =$	16.46	Gradiente de velocidad al paso del flujo por compuertas (G)	s ⁻¹	
		f	0.020					
		RH	0.0857					
		g	9.810					

J) Cálculo de zona de recolección de agua decantada cuando una unidad se encuentra en mantenimiento:

Paso	Datos	Simb.	Cantidad	Unld.	Criterios	Cálculo	Resultados	Un.
1	Caudal	Q=	0.041	m ³ /s	$Lv = Q / qv =$	14.40	Longitud total de tuberías de recol.(Lv)	m
	por decantador							
2	Tasa de diseño de las tuberías de recolec.	qv =	2.85	l/s*m				
3	Ancho util por decantador	2b=	2.40	m	$n = Lv / 2b$	6.00	Numero de tubos (n)	unidad
					$n =$	6.00	por modulo	
					$N =$	12.00	Numero de Tubos por decantador	unidad
4					$Lv' = 2b \times n$	14.40	Valores corregidos	m
					$qv' = Q / Lv'$	2.85		l/s x m
5					$q = Q / 2n$	3.42	Caudal correspondiente a cada tubería de recol.(q)	lps
6	Espaciamiento entre orificios	e =	0.20	m	$n = b / e$	12.00	Numero de orificios por tubería	unidad

7	Diametro de los orificios	do =	1/2	pulg.	Ao =	$do^2 \pi / 4$	0.0001	Area de los orificios	m
			0.0127	m					
8	Relación para colección	compb.			0.15 >	$n \times Ao/AD$	0.01	Area de la tub. de recolección	m2
	uniforme con una desviación < de 5%	<	0.15	unidad					
9						4.47	Diametro de tub de recolección	pulg	
						6.00	D comercial de la tub de recolección	pulg	

K) Dimensionamiento de un colector múltiple con tolvas separadas:

Paso	Datos	Cantidad	Unid.	Criterios		Cálculos	Resultados	Unid.		
1	Longitud del Decantador	L =	5.80	m	l =	L / N	Longitud de la base mayor de cada tolva	m		
	Numero de tolvas por modulo	N =	5.00	cte						
2	Ancho de cada modulo de decantación	b =	1.20	m	A =	b . l	A = 1.39	Sección mayor de la tolva	m ²	
3	Profundidad del tronco de pirámide de la tolva	h ₁ =	0.90	m	V _{T1} =	$(1/3 A . h) 2N$	V _{T1} =	4.18	Volumen del tronco de pirámide de las tolvas	m ³
	Inclinación de las tolvas	s =	59°							
4	Profundidad de la sección recta de las tolvas	h ₂ =	0.00	m	V _{T2} =	A x h ₁ x N	V _{T2} =	0.00	Volumen de la parte recta de las tolvas	m ³
5	Caudal de lodos producidos	QL =	0.04	L/s	F =	$(V_{T1} + V_{T2}) / QL$	F =	1.00	Frecuencia de descarga	dia
6	Velocidad de arrastre	Va =	0.02	m/s	d =	$\frac{x}{1.162(H^{0.5}/Va)^{0.5}}$	d =	3.92	Diámetro de los orificios de descarga	pulg
	Carga hidráulica	H =	3.64	m			d' =	4.00		
	Separación de los orificios de descarga	x =	1.16	m			Ao =	0.01		
7	Relacion de velocidades para una desviación de 10%	R =	0.42		D =	$d / (R / N)^{0.5}$	D =	13.80	Diámetro del colector	pulg
							D' =	14.00	Diámetro Comercial	pulg
					Ac =	$(\pi D^2) / 4$	Ac =	0.10	Sección del colector	m ²
8	Coefficientes de descarga	Cd =	0.65		Q =	$Cd Ac (2g h)^{0.5}$	Q =	0.27	Caudal de descarga de lodos	m ³ /s
9	Numero de modulos por Decantador	n =	2.00	unid.	V =	$(V_{T1} + V_{T2}) / n$	V =	0.42	Volumen que descarga cada tolva	m ³
10	Volumen que descarga cada colector	V =	2.09	m ³	T =	V / Q	T =	8.00	Tiempo de vaciado	s

L) Diseño de filtros rápidos con tasa declinante y lavado mutuo:

PASO	DATOS	CANTIDAD	UNIDAD	CRITERIOS	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD	
1	Caudal de diseño	Q=	0.082	m ³	AF=Q*60/VA	6.12	Area de cada Filtro	m ²
	Longitud Util	L=	10.20	m	a=AF/b	2.40	a: (multiplo de 15 ó 30cm)	m
						8.00	numero de viguetas	
	Velocidad Ascensional de Lavado	VA=	0.80	m/min	Ancho de cada filtro	2.55	b (ancho de cada filtro)	m
2	Velocidad de Filtración Promedio	VF=	289.59	m ³ /m ² /d	AT=Q*86400/VF	24.48	Area Total de Filtros	m ²
3				Numero tentativo de Filtros	4.00	Numero de Filtros	Unidad	
				N=AT/AF	4.00	Numero de Filtros	Unidad	

4	Tamaño Efectivo de la Arena	d10=	0.67	mm	$d'90=3*d10$	2.00	Tamaño efectivo de la Antracita (90% pasa)	mm
5					$d'10=d'90/2$	1.00	Tamaño efectivo de la Antracita	mm
6	Coeficiente de Uniformidad de la Arena y Antracita $Cu < 1.5$	Cu=	1.43		$d60=Cu*d10$	0.950	Tamaño Correspondiente al 60% de la Arena	mm
		Cu'=	1.50		$d'60=Cu'*d'10$	1.503	Tamaño Correspondiente al 60% de la Antracita	mm
7	Diametro mas Fino de la Capa de Arena	d1=	0.43	mm	$De=(d1*d2)^{1/2}$	0.461	Diametro Equivalente de la Capa mas Fina	mm
	Diametro mas Grueso de la Capa de Arena	d2=	0.50	mm				
8	Peso Especifico del agua	$\rho_a =$	999.77	Kg/m ³	$Ga = (De/1000)^3 * \rho_a / (g * \mu^2)$	9704003.7	Numero de Galileo para la capa mas fina de la Arena	
	Peso Especifico de la arena	$\rho_r =$	2660	Kg/m ³				
	Viscosidad dinamica para 10°C	$\mu =$	1.3070E-06	Kg-s/m ²				
	Aceleracion de la Gravedad	$g =$	9.81	m/s ²				
9	Viscosidad Cinematica para 10°C	$\nu =$	1.3070E-06	m ² /s	$Re=VA*De / \nu$	4.729	Numero de Reynold Modificado	
10	Coeficiente de Esfericidad	Ce=	0.800			0.750	Del Ábaco se obtuvo= ei	

M) Diseño de filtros rápidos con tasa declinante y lavado mutuo I.

PASO	DATOS	CANTIDAD	UNIDAD	CRITERIOS	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD	
11	Fraccion del Lecho Filtrante que ocupa la capa 1 o capa mas fina	$X_i =$	0.002		$X_i/(1-e_i)$	0.010	Repetir pasos del 7 al 11 para cada capa de Arena y Antracita ver Cuadro-1 y Cuadro-2 y Grafica Granulometrica Arena-Antracita	
12	Del cuadro 1 se obtiene $\hat{a} X_i / (1-e_i)$		2.215		$ee=1-1/(\hat{a} X_i / (1-e_i))$	0.549	Porosidad expandida promedio de la capa de Arena	
13	Del cuadro-2 se obtiene $\hat{a} X_i / (1-e_i)$		2.355		$e'e=1-1/(\hat{a} X_i / (1-e_i))$	0.575	Porosidad expandida promedio de la capa de Antracita	
14	Porosidad de la Arena Limpia	$e_o =$	0.42		$E=(ee-e_o) / (1-ee)$	28.50%	Porcentaje de expansión promedio de la Arena	
15	Porosidad de la Antracita Limpia	$e'o =$	0.5		$E'=(e'e-e'o) / (1-e'e)$	29.50%	Porcentaje de expansión promedio de la Antracita	
16	Altura de arena en Filtro	L=	0.30	m	$Le=L(1+E)+L'(1+E')$	1.03	Altura de lecho expandido	m
	Altura de antracita en Filtro	L'=	0.50	m				
17	Numero de Canaletas de Recoleccion de agua de Lavado	N3=	1.00	Unidad	$Qc=1.3*(Q*60) / N3$	6.400	Caudal que recolecta cada canaleta	m ³ /min
18	Altura util de las Canaletas de lavado	ho=	0.27	m	$W=Qc/(82.5*ho^{3/2})$	0.55	Ancho de las canaletas de lavado	m
19	Altura de losa	hL=	0.10	m	$H=1.5*ho+hL$	0.50	Altura total de canaleta de lavado mas losa de fondo	m
		LT=	0.80	m	$Hex=Le-LT$	0.23	Altura expandida	m
		Le=	1.03	m				
20	Altura de lecho expandido a la parte inferior de la canaleta de lavado	h1'=	0.15	m	$H4'=H+Hex+h1'$	0.88	Distancia del borde de la canaleta de lavado a la superficie del medio filtrante estatico	m

21	Altura del Falso fondo	H1=	0.50	m				
	Atura Drenaje mas la grava	H2=	0.52	m				
	Altura del Lecho Filtrante	H3=	0.80	m	Hc'=H1+H2+H3+H4'	2.70	Altura del borde de la canaleta relativa al fondo del filtro (real)	m

N) Pérdida de carga en el proceso de lavado:

PASO	DATOS	CANTIDAD	UNIDAD	CRITERIOS	CALCULOS	RESULTADO	UNIDAD	
22	Densidad de la arena	$\gamma_r =$	2.660	gr/cm ³	$h_f = (1 - e_o)(r_s - r_a)l$	0.289	Perdida de carga en la arena durante el lavado	m
	Densidad del agua	$\gamma_a =$	1.000	gr/cm ³				
	Espesor de la capa de arena	L=	0.30	m				
	Porosidad de la arena	$e_o =$	0.42					
23	Densidad de la antracita	$\gamma_{antra} =$	1.60	gr/cm ³	$h_f = (1 - e_o)(r_{antra} - r_a)L'$	0.165	Perdida de carga en antracita durante el lavado	m
	Porosidad de la antracita	$e_o =$	0.5					
	Espesor de la capa de antracita	L=	0.50	m	$h_{f2} = h_f + h_f$	0.45	Perdida de carga total en el lecho filtrante durante el lavado	m
24	Largo de cada filtro	B=	2.40	m	$N_1 = B/b$	8.00	Numero de viguetas del drenaje	unidad
	Ancho de cada vigueta	b=	0.30	m				
25	Espaceamiento entre orificios	x=	0.15	m	$N_2 = 2^*c/x$	34.00	Numero de orificios en cada vigueta	unidad
	Longitud de cada vigueta	c=	2.55	m				
26					$N_t = N_1 * N_2$	272	Numero total de orificios en el drenaje	unidad
27					$q_o = Q/N_t$	3.02E-04	Caudal de lavado por orificio	m ³ /s
28	Diametro de los orificios del drenaje	$d_o =$	3/4	pulg	$A_o = p * d_o^2 / 4$	2.85E-04	Area de los orificios del drenaje	m ²
		$d_o =$	0.0191	m				
29	Coefficiente de descarga de los orificios	$C_d =$	0.65		$h_{f2} = q_o^2 / (2g * (C_d * A_o)^2)$	0.136	Perdida de carga en los orificios del drenaje	m
	Aceleracion de la gravedad	g=	9.81	m/s ²				
30	Altura del falso fondo	H1=	0.50	m	$A_{ff} = H_1 * c$	1.275	Seccion transversal del falso fondo	m ²
31					$V_{ff} = Q/A_{ff}$	0.064	Velocidad en el falso fondo durante el retrolavado	m/s
32	Coeficiente de perdida de carga en el falso fondo	K=	1.00		$h_{f3} = K * V_{ff}^2 / (2g)$	2.11E-04	Perdida de carga en el falso fondo durante el retrolavado	m
33	Velocidad en la compuerta de salida	$V_{c2} =$	1.45	m/s	$h_{f4} = K * V_{c2}^2 / (2g)$	1.07E-01	Perdida de carga en la compuerta de salida durante el retrolavado	m
34	Longitud de las canaletas de lavado	c=	2.40	m	$h_f = (1.3 * Q / (1.84 * 2 * N_3 * c))^2 / 3$	0.053	Altura de agua sobre las canaletas de recoleccion	m
35					$h_{FLavado} = h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} + h_{f4} + h_{f5}$	0.75	Perdidas de carga total durante el retrolavado	m
36					$H_V = H_c + h_{FLavado}$	3.45	Altura del vertedero que controla la hidraulica del lavado	m

O) Cálculo del almacén de cloro:

PASO	DATOS	CANTIDAD	UND	CRITERIOS	RESULTADOS	UND
1	Dosis maxima	DM = 3.00	mg/l	$D=(DM+Dm)/2$	Dosis promedio	mg/l
	Dosis minima	Dm = 1.0	mg/l			
2	Tiempo de almacenamiento	T = 60	dias	$W=Q*T*D$	Peso de cloro requerido en el periodo de almacenamiento	Kg
	Caudal de diseño	Q = 82	lps			
3	Peso de un cilindro	P = 67	Kg	$N=W/P$	Numero de cilindros	----
4	Area que ocupa cada cilindro	Ac = 0.071	m2	$At=1.25*Ac*N$	Area total ocupada por los cilindros	m2

P) Cálculo de una estación de cloración:

PASO	DATOS	CANTIDAD	UND	CRITERIOS	RESULTADO	UND
1	Caudal de diseño	Q = 82.05	lps	$q=Q*DM/C$	Caudal mínimo de agua requerido para la operación del eyector	m3/s
	Dosis maxima	DM = 3.0	mg/l			
	Concentracion de solucion	C = 3500	mg/l			
2				$W=Q*DM$	Capacidad requerida del equipo	mg/s
					Capacidad requerida del equipo	g/h
3	En el cuadro seleccionamos la capacidad del clorador	Wmax = 1400	g/h		Capacidad comercial maxima mas cercana	mg/s
4				$Wmin=Wmax/20$	Capacidad minima del clorador	mg/s
5	Velocidad en la tuberia de alimentacion de agua	V = 1.2	m/s	$A=q/V$	Area de la tuberia	m2
6	Area de la tuberia de alimentacion de agua	A = 5.86E-05	m2	$F=(4*A/p)^0.5$	Diametro de la tuberia de alimentacion de agua	m
						pulg
					Diametro comercial	pulg
					Diametro comercial	m
7	Longitud de la tuberia de alimentacion de agua	L = 9.30	m	$Ho=f*L*V^2/2gD$	Perdida de carga por friccion	m
	Coefficiente de friccion	f = 0.03				
8	Coefficiente total de perdida de carga por accesorios	SK = 6.9		$Hm=SK*V^2/2g$	Perdida de cargas menores	m
9	Presion requerida por el eyector	h = 30	m	$H=h+Ho+Hm$	Carga dinamica total	m
10	Densidad del agua	d = 999.77	Kg/m3	$P=d*q*H/(75E)$	Potencia de la bomba	HP
	Eficiencia	E = 0.75			Potencia comercial	
11	Tiempo de contacto	t = 30	minutos	$Vtc=Q*t$	Volumen del tanque de contacto de cloro	m3
12	Dimensión aproximada:					
	Ancho de la cámara	b = 1.80	m	$Lt=Vtc/(b*h)$	Longitud total de la camara de contacto	m
	Altura de agua	h = 1.80	m			
13	Longitud de la camara	L = 11.10	m	$N=Lt/L$	Número de camaras de contacto	

Q) Cálculo del almacén de hipoclorito:

PASO	DATOS	CANTIDAD	UND	CRITERIOS	RESULTADO	UND	
1	Dosis maxima	DM = 4.3	mg/l	$D = (DM + Dm) / 2$	2.85	Dosis promedio	mg/l
	Dosis minima	Dm = 1.4	mg/l				
2	Tiempo de almacenamiento	T = 10	dias	$W = Q * T * D$	202.0	Peso de hipoclorito de calcio requerido en el periodo de almacenamiento	Kg
	Caudal de diseño	Q = 82.05	lps				
3	Peso de un tambor	P = 50	Kg	$N = W / P$	4.00	Numero de Tambores	----
4	Area que ocupa cada tambor	Ac = 0.160	m2	$At = 1.25 * Ac * N$	0.80	Area total ocupada por los tambores	m2

R) Sistema de cloración para hipoclorito:

PASO	DATOS	CANTIDAD	UND	CRITERIOS	RESULTADO	UND	
1	Caudal de diseño	Q = 82.05	l/s	$q = Q * D / C$	0.012	Caudal de dilucion	l/s
	Dosis Promedio	D = 2.85	mg/l				
	Concentracion	C = 20000	mg/l				
2	Tiempo de contacto en horas	To = 12.00	hr	$V = q * x * To$	0.51	Volúmen del Tanque de Solución	m3
3				$P = Q * D$	234	Consumo de Reactivo	mg/s
					20.20	Consumo Promedio diario	Kg/día
4				$Po = P * To / 24$	10.10	Consumo por Tanque de Solución	Kg
5	Dosis Máxima	DM = 4.3	mg/l	$qM = Q * DM / C$	0.0180	Caudal máximo de dosificación	l/s
					1555		l/día
	Dosis Mínima	Dm = 1.4	mg/l		$qm = Q * Dm / C$	0.006	Caudal mínimo de dosificación
					518	Caudal mínimo de dosificación	l/día
3	Volúmen del Tanque	V = 0.51	m3	$V = \text{Altura} * \text{Ancho} * \text{Largo}$	0.90	Largo	m
					0.90	Ancho	m
					0.60	Altura	m

S) Diseño del dosificador cloro:

DISEÑO DEL DOSIFICADOR - CLORO

Consideraciones :

Caudal mínimo del eyector	=	7.03E-02	lps	
Diámetro del difusor	=	2	Pulg	
Número de orificios	=	20.00	Orificios	
Diámetro del orificio	=	5	mm	≥ 3mm

Comprobación :

Área del difusor (A _C)	=	0.00196	m ²	
Área del orificio (A _o)	=	0.00002	m ²	

$$nx \frac{A_o}{A_c} = 0.200 < 0.42 \quad \text{Cumple!!}$$

Entonces :

Separación entre orificios (e)	=	8.57	cm	≤ 10 cm
--------------------------------	---	------	----	---------

Velocidad

En difusor:		0.036	m/seg	
En orificio:		0.179	m/seg	

T) Diseño del dosificador hipoclorito:

DISEÑO DEL DOSIFICADOR - HIPOCLORITO

Consideraciones :

Diámetro del difusor	=	2	Pulg	
Número de orificios	=	20.00	Orificios	
Diámetro del orificio	=	3.00	mm	≥ 3mm

Comprobación :

Área del difusor (A _C)	=	0.00196	m ²	
Área del orificio (A _o)	=	0.00001	m ²	

$$nx \frac{A_o}{A_c} = 0.072 < 0.42 \quad \text{Cumple!!}$$

Entonces :

Separación entre orificios (e)	=	8.57	cm	≤ 10 cm
--------------------------------	---	------	----	---------

Velocidad

Caudal de dosificación:		0.006	lps	
En difusor:		0.003	m/seg	
En orificio:		0.042	m/seg	

U) Dimensionamiento del lecho de secado de lodos - reservorio de regulación:

ITEM	DATOS	CANTIDAD	UND	CRITERIOS	CALCULOS	RESULTADOS	UND
1	Datos Generales del Plano del Reservorio de Regulación de Recolección de Lodos	$D_R = 22.00$	m	$V_{LR} = N_R \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_R)^2 \cdot H_R$	$V_{LR} = 13.31$	Volumen de Lodos generados en el Reservorio	m^3
		$H_R = 0.22$	m				
		$N_R = 1.00$	und				
2	Datos Generales del Volumen y Caudal de Lodos Generados en el Reservorio de Regulación	$V_{LR} = 13.31$	m^3	$F_R = \frac{V_{LR}}{Q_L}$	$F_R = 2.00$	Frecuencia de descarga en el Reservorio	día
		$Q_L = 0.09$	L/s				
		$N_S = 1.00$	und				
3	Caudal de Lodos Generados	$Q_L = 0.09$	L/s	$F_{RLS} = \frac{V_{LR}}{Q_L \cdot P_L}$	$F_{RLS} = 11.00$	Frecuencia de descarga corregida en el Reservorio	día
	Porcentaje de Lodos Sedimentados	$P_L = 15.00$	%				
4	Caudal Total de Lodos Reservorio	$Q_{LR} = 1.21$	$m^3/día$	$V_{EL} = Q_{LR} \cdot T_{TL}$	$V_{EL} = 12.10$	Volumen de Extracción de Lodos	m^3
	Tiempo Total de Secado	$T_{TL} = 10.00$	días				
5	Volumen de Extracción de Lodos	$V_{EL} = 12.10$	m^3	$A_{LR} = \frac{V_{EL}}{H_L}$	$A_{LR} = 30.25$	Área del Lecho de Secado de Lodos	m^2
	Altura de Lodos en el Lecho	$H_L = 0.40$	m				
6	Tiempo Total de Días al Año	$T_{AÑO} = 365.00$	días	$N_p = \frac{T_{AÑO}}{T_{TL}}$	$N_p = 36.50$	Número de purgas a realizarse en el año	und
	Tiempo Total de Secado	$T_{TL} = 10.00$	días				
7	Área del Lecho de Secado de Lodos	$A_{LS} = 30.25$	m^2	$B_{TLS} = \frac{A_{LS}}{L_{LS}}$	$B_{TLS} = 4.23$	Ancho Total del Lecho de Secado de Lodos	m
	Largo del Lecho de Secado de Lodos	$L_{LS} = 7.15$	m				
8	Ancho del Lecho de Secado de Lodos	$B_{TLS} = 4.23$	m	$B_{LS} = \frac{B_{TLS}}{N_{LS}}$	$B_{LS} = 4.23$	Ancho por Unidad del Lecho de Secado de Lodos	m
	Número de Unidades en Paralelo	$N_{LS} = 1.00$	und				

V) Dimensionamiento del lecho de secado de lodos - pre sedimentador:

ITEM	DATOS	CANTIDAD	UND	CRITERIOS	CALCULOS	RESULTADOS	UND
1	Datos Generales del Plano del PreSedimentador en la Zona de Recolección de Lodos (SP)	$L_{SP} = 19.35$	m	$V_{LSP} = N_{SP} \cdot \frac{1}{3} \cdot L_{SP} \cdot A_{SP} \cdot H_{SP}$	$V_{LSP} = 20.64$	Volumen de Lodos generados en la sección piramidal (SP)	m^3
		$A_{SP} = 4.00$	m				
		$H_{SP} = 0.40$	m				
		$N_{SP} = 2.00$	und				
2	Datos Generales del Plano del PreSedimentador en la Zona de Recolección de Lodos (SR)	$L_{SR} = 19.35$	m	$V_{LSR} = N_{SR} \cdot \frac{1}{2} \cdot L_{SR} \cdot A_{SR} \cdot H_{SR}$	$V_{LSR} = 1.16$	Volumen de Lodos generados en la sección prismática (SR)	m^3
		$A_{SR} = 0.30$	m				
		$H_{SR} = 0.40$	m				
		$N_{SR} = 1.00$	und				
3	Datos Generales del Plano del PreSedimentador en la Zona de Recolección de Lodos (SU)	$L_{SU} = 19.35$	m	$V_{LSU} = N_{SU} \cdot L_{SU} \cdot A_{SU} \cdot H_{SU}$	$V_{LSU} = 22.48$	Volumen de Lodos generados en la sección paralelepípeda (SU)	m^3
		$A_{SU} = 8.30$	m				
		$H_{SU} = 0.14$	m				
		$N_{SU} = 1.00$	und				
4	Volumen de Lodos Sección Piramidal	$V_{LSP} = 20.64$	m^3	$V_{LS} = V_{LSP} + V_{LSR} + V_{LSU}$	$V_{LS} = 44.28$	Volumen Total de Lodos del PreSedimentador	m^3
	Volumen de Lodos Sección Prismática	$V_{LSR} = 1.16$	m^3				
	Volumen de Lodos Secc. Paralelepípeda	$V_{LSU} = 22.48$	m^3				

5	Datos Generales del Volumen y Caudal de Lodos Generados en el PreSedimentador	$V_{LS} = 44.28$	m^3	$F_S = \frac{V_{LS}}{Q_L}$	$F_S = 5.00$	Frecuencia de descarga en el PreSedimentador	día
		$Q_L = 0.09$	L/s				
		$N_S = 1.00$	und				
6	Caudal Total Lodos PreSedimentador	$Q_{LS} = 8.86$	$m^3/día$	$V_{EL} = Q_{LS} \cdot T_{TL}$	$V_{EL} = 88.56$	Volumen de Extracción de Lodos	m^3
	Tiempo Total de Secado	$T_{TL} = 10.00$	días				
7	Volumen de Extracción de Lodos	$V_{EL} = 88.56$	m^3	$A_{LS} = \frac{V_{EL}}{H_{LS}}$	$A_{LS} = 221.40$	Área del Lecho de Secado de Lodos	m^2
	Altura de Lodos en el Lecho	$H_{LS} = 0.40$	m				
8	Tiempo Total de Días al Año	$T_{AÑO} = 365.00$	días	$N_p = \frac{T_{AÑO}}{T_{TL}}$	$N_p = 36.50$	Número de purgas a realizarse en el año	und
	Tiempo Total de Secado	$T_{TL} = 10.00$	días				
9	Área del Lecho de Secado de Lodos	$A_{LS} = 221.40$	m^2	$B_{TLS} = \frac{A_{LS}}{L_{LS}}$	$B_{TLS} = 17.03$	Ancho Total del Lecho de Secado de Lodos	m
	Largo del Lecho de Secado de Lodos	$L_{LS} = 13.00$	m				
10	Ancho del Lecho de Secado de Lodos	$B_{TLS} = 17.03$	m	$B_{LS} = \frac{B_{TLS}}{N_{LS}}$	$B_{LS} = 8.52$	Ancho por Unidad del Lecho de Secado de Lodos	m
	Número de Unidades en Paralelo	$N_{LS} = 2.00$	und				

W) Dimensionamiento del lecho de secado de lodos – decantador:

ITEM	DATOS	CANTIDAD	UND	CRITERIOS	CALCULOS	RESULTADOS	UND
1	Datos Generales del Plano del Decantador en la Zona de Recolección de Lodos (SP)	$L_{SP} = 1.16$	m	$V_{LSP} = N_{SP} \cdot \frac{1}{3} \cdot L_{SP} \cdot A_{SP} \cdot H_{SP}$	$V_{LSP} = 4.18$	Volumen de Lodos generados en la sección piramidal (SP)	m^3
		$A_{SP} = 1.20$	m				
		$H_{SP} = 0.90$	m				
		$N_{SP} = 10.00$	und				
2	Datos Generales del Plano del Decantador en la Zona de Recolección de Lodos (SR)	$L_{SR} = 1.16$	m	$V_{LSR} = N_{SR} \cdot \frac{1}{2} \cdot L_{SR} \cdot A_{SR} \cdot H_{SR}$	$V_{LSR} = 0.00$	Volumen de Lodos generados en la sección prismática (SR)	m^3
		$A_{SR} = 1.20$	m				
		$H_{SR} = 0.00$	m				
		$N_{SR} = 10.00$	und				
3	Volumen de Lodos Sección Piramidal	$V_{LSP} = 4.18$	m^3	$V_{LS} = V_{LSP} + V_{LSR}$	$V_{LS} = 4.18$	Volumen Total de Lodos del Decantador	m^3
	Volumen de Lodos Sección Prismática	$V_{LSR} = 0.00$	m^3				
4	Datos Generales del Volumen y Caudal de Lodos Generados en el Decantador	$V_{LS} = 4.18$	m^3	$F_S = \frac{V_{LS}}{Q_L}$	$F_S = 1.00$	Frecuencia de descarga en el Decantador	día
		$Q_L = 0.04$	L/s				
		$N_S = 1.00$	und				
5	Caudal Total de Lodos - Decantador	$Q_{LS} = 4.18$	$m^3/día$	$V_{EL} = Q_{LS} \cdot T_{TL}$	$V_{EL} = 41.80$	Volumen de Extracción de Lodos	m^3
	Tiempo Total de Secado	$T_{TL} = 10.00$	días				
6	Volumen de Extracción de Lodos	$V_{EL} = 41.80$	m^3	$A_{LS} = \frac{V_{EL}}{H_L}$	$A_{LS} = 104.50$	Área del Lecho de Secado de Lodos	m^2
	Altura de Lodos en el Lecho	$H_L = 0.40$	m				
7	Tiempo Total de Días al Año	$T_{AÑO} = 365.00$	días	$N_p = \frac{T_{AÑO}}{T_{TL}}$	$N_p = 36.50$	Número de purgas a realizarse en el año	und
	Tiempo Total de Secado	$T_{TL} = 10.00$	días				
8	Área del Lecho de Secado de Lodos	$A_{LS} = 104.50$	m^2	$B_{TLS} = \frac{A_{LS}}{L_{LS}}$	$B_{TLS} = 8.04$	Ancho Total del Lecho de Secado de Lodos	m
	Largo del Lecho de Secado de Lodos	$L_{LS} = 13.00$	m				

9	Ancho del Lecho de Secado de Lodos	$B_{TLs} = 8.04$	m	$B_{LS} = \frac{B_{TLs}}{N_{LS}}$	$B_{LS} = 2.01$	Ancho por Unidad del Lecho de Secado de Lodos	m
	Número de Unidades en Paralelo	$N_{LS} = 4.00$	und				

X) Cálculo del sedimentador:

N°	Datos	Unidad	Criterios	Calculos	Resultados	Unidad
1	Velocidad de sedimentación de la partícula $V_s = 0.0005$	m/s	$A_s = \frac{Q}{V_s}$	$A_s = 160.64$	Area superficial de la zona de decantación	m ²
	Caudal de diseño $Q = 0.082$	m ³ /s				
	Numero de Unidades					
2	Ancho del sedimentador $B = 8.30$	m	$L_2 = \frac{A_s}{B}$	$L_2 = 19.35$	Longitud de la Zona de sedimentación	m
3	Longitud de la estructura de entrada (pantalla difusora) $L_1 = 0.90$	m	$L_T = L_1 + L_2$	$L_T = 20.25$	Longitud Total del sedimentador	m
4	Relación Largo / Ancho de la zona de sedimentación		$2 < \frac{L_2}{B} < 5$	$L / B = 2.44$	Relación largo/ancho de la zona de sedimentación	adim
5	Altura del sedimentador $H = 2.75$	m	$5 < \frac{L}{H} < 20$	$L / H = 7.04$	Relación largo/alto de la zona de sedimentación	adim
6	Velocidad horizontal del flujo		$V_H = \frac{100 Q}{B H}$	$V_H = 0.36$	Velocidad horizontal del flujo	cm/s
7	Tiempo de retención de la unidad		$T_o = \frac{A_s H}{3600 Q}$	$T_o = 2.00$	Tiempo de retención de la unidad	horas
8	Pendiente en el fondo $S = 3\%$		$H_1 = H + S L_2$	$H_1 = 3.35$	Altura Máxima en la tolva de Lodos	m
9	Longitud de la cresta del vertedero de entrada / salida = ancho del $L = B = 8.30$	m	$H_2 = \left[\frac{Q}{1.84 L} \right]^{2/3}$	$H_2 = 0.031$	Altura de agua sobre el vertedero de entrada / salida	m
10	Velocidad de paso a través de los orificios de la cortina de distribución $V_o = 0.15$	m / s	$A_o = \frac{Q}{V_o}$	$A_o = 0.5582$	Area total de orificios	m ²
11	Diámetro de los orificios $D = 0.10$	m	$a_o = (\pi / 4) \times D^2$	$a_o = 0.00849$	Area de cada orificio	m ²
12	Número de orificios en la pantalla difusora		$n = \frac{A_o}{a_o}$	$n = 66.00$	Número de orificios	unidad
13	Dimension de la cortina cubierta de orificios		$H_3 = H - \frac{2}{5} H$	$H_3 = 1.65$	Altura de la cortina cubierta de orificios	m
				$B_1 = 4.98$	Ancho de la cortina cubierta de orificios	m

14	Número de filas de orificios $N_1 = 6.00$	unid	$a = \frac{h}{N_1 - 1}$	$a = 0.33$	Espaciamiento entre orificios filas	m
	Número de columnas de orificios $N_2 = 11.00$	unid	$b = \frac{h}{N_2 - 1}$	$b = 0.50$	Espaciamiento entre orificios columnas	m
15	Espaciamiento lateral con respecto a la pared	m	$a_1 = \frac{B - a(N_1 - 1)}{2}$	$a_1 = 1.66$	Espaciamiento lateral con respecto a la pared	m
16	Espaciamiento vertical con respecto a la pantalla	m	$b_1 = H / 5$	$b_1 = 0.55$	Espaciamiento vertical con respecto a la pantalla	

Y) Cálculo de la gradiente en orificios:

Los calculos se realizaron para una temperatura de 10°C

$Q_{orificio} = 0.00124 \text{ m}^3$
$A_{orificio} = 0.00849 \text{ m}^2$
$\sqrt{\gamma/\mu} = 2736.53$
$g = 9.81 \text{ m/s}^2$
$f = 0.020$
$V = 0.15 \text{ m/s}$
$D = 0.10 \text{ m}$
$P = 0.33 \text{ m}$
$RH = 0.0260 \text{ m}$
Gradiente $G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \sqrt{\frac{f}{8 g R_H}} V^{1.5}$
$G = 15.17 \text{ s}^{-1}$

Anexo N° 05. Ensayo de la muestra de La Moya con policloruro de aluminio

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dosis (mg/lt)	10	15	20	25	30	35
Volumen (ml)	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00
Primer Ensayo						
Turbiedad E1-03min	170.00	155.00	92.40	155.00	203.00	221.00
Turbiedad E1-05min	42.60	10.70	8.70	4.39	6.44	21.70
Segundo Ensayo						
Turbiedad E2-03min	137.00	102.00	45.20	21.50	46.60	89.70
Turbiedad E2-05min	70.50	13.00	11.90	5.72	53.60	57.30

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
Dosis (mg/lt)	25	25	25	25	25	25
Volumen (ml)	10.00	5.00	3.33	2.50	2.00	1.67
Primer Ensayo						
Turbiedad E1-03min	37.70	27.40	21.10	26.10	84.10	110.00
Turbiedad E1-05min	3.75	4.37	3.55	6.04	29.20	10.60
Segundo Ensayo						
Turbiedad E2-03min	142.00	83.70	83.50	114.00	214.00	233.00
Turbiedad E2-05min	36.20	25.80	20.80	29.90	30.30	40.60

DETERMINACIÓN DEL PH ÓPTIMO						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Dosis (mg/lit)	21	24	25	27	30	33
Volumen (ml)	2.80	3.20	3.33	3.60	4.00	4.40
Primer Ensayo pH = 8.50						
Turbiedad E1-03min	22.80	17.80	13.20	10.20	11.80	16.50
Turbiedad E1-05min	4.59	3.82	3.80	3.50	4.39	4.99
Segundo Ensayo pH = 8.00						
Turbiedad E2-03min	28.70	26.50	20.90	20.80	22.30	24.20
Turbiedad E2-05min	6.74	12.70	6.15	4.94	9.50	8.59
Tercer Ensayo pH = 7.00						
Turbiedad E3-03min	30.50	24.60	21.10	18.10	27.50	39.50
Turbiedad E3-05min	18.30	17.50	15.80	14.10	12.70	12.00
Cuarto Ensayo pH = 6.00						
Turbiedad E4-03min	97.90	80.40	59.80	49.40	42.60	49.10
Turbiedad E4-05min	37.50	33.80	35.20	29.50	23.80	44.80

DETERMINACIÓN DE FLOCULACIÓN						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Dosis (mg/lit)	27	27	27	27	27	27
Volumen (ml)	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
Tiempo (min)	05	10	15	20	25	30
Ensayo						
G= 20 s ⁻¹ ≈ 20RPM	27.60	25.10	22.20	16.50	17.10	16.60
G= 30 s ⁻¹ ≈ 28RPM	15.00	29.50	19.40	7.33	12.90	13.80
G= 50 s ⁻¹ ≈ 38RPM	24.10	20.00	10.30	8.09	7.42	8.73
G= 60 s ⁻¹ ≈ 45RPM	60.80	37.30	16.90	24.10	10.00	8.10

VALORES CRÍTICOS DE PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN

JARRA	01	02	03	04	05	06
Tiempo (min)	05	10	15	20	25	30
Gradiente (s-1)	33	49	52	39	53	60

Se aplicará teoría de Mínimos Cuadrados a la ecuación de la recta:

$$y = a + bx$$

$$\log G = a + b \cdot \log T$$

MÍNIMOS CUADRADOS				
Item	x	y	xy	x ²
n	LogT	LogG	LogT.LogG	LogT ²
01	0.698970004	1.518513940	1.061395695	0.488559067
02	1.000000000	1.690196080	1.690196080	1.000000000
03	1.176091259	1.716003344	2.018176533	1.383190650
04	1.301029996	1.591064607	2.070022779	1.692679050
05	1.397940009	1.724275870	2.410434224	1.954236268
06	1.477121255	1.778151250	2.626545006	2.181887201
Σ	7.051152522	10.01820509	11.87677032	8.700552235

Se procede de la siguiente manera de acuerdo a Mínimos Cuadrados:

$$\sum_{i=1}^n Y_i = a n + b \sum_{i=1}^n X_i \quad (\alpha)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i X_i = a \sum_{i=1}^n X_i + b \sum_{i=1}^n X_i^2 \quad (\beta)$$

De esta forma se determinan los valores de a y b:

$$\begin{array}{l}
 (\alpha) \quad 10.01820509 = a \quad 6.000000000 + b \quad 7.051152522 \\
 (\beta) \quad 11.87677032 = a \quad 7.051152522 + b \quad 8.700552235
 \end{array}$$

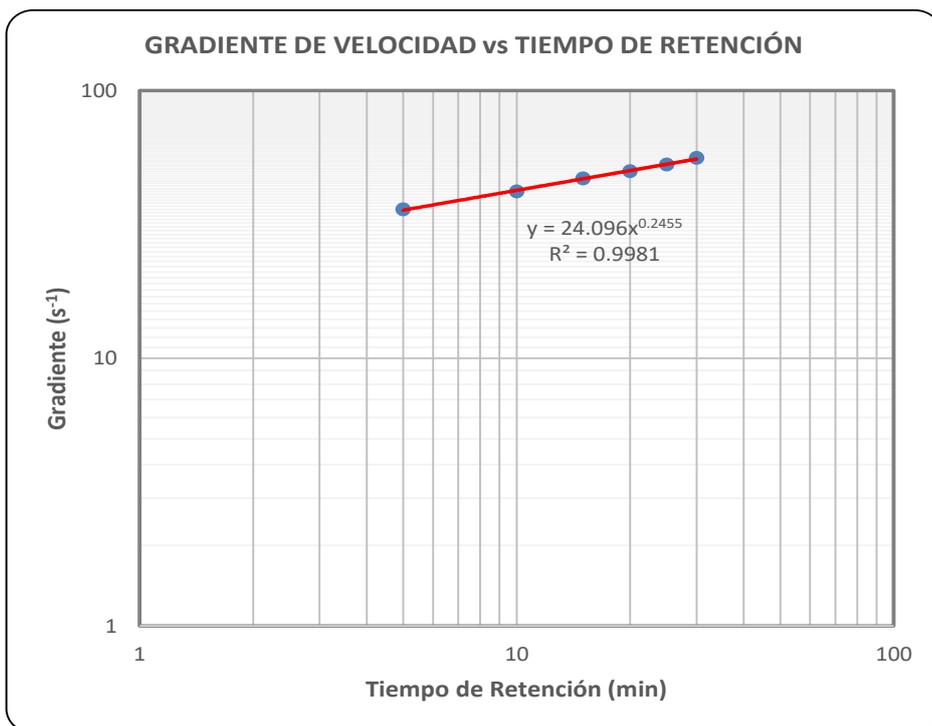
a	=	1.376097026
b	=	0.249834751

Reemplazamos los valores obtenidos en la ecuación de la recta, obteniéndose lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 \log G &= a + b \cdot \log T \\
 \log G &= 1.376097 + 0.249835 \cdot \log T \\
 \log G - 0.249835 \cdot \log T &= 1.376097 \\
 \log G \times T^{-0.249835} &= 1.376097 \\
 G \times T^{-0.249835} &= 10^{1.376097}
 \end{aligned}$$

VALORES CRÍTICOS DE PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN CORREGIDOS

JARRA	01	02	03	04	05	06
Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Gradiente (s-1)	36	42	47	50	53	56



DETERMINACIÓN DE SEDIMENTACIÓN						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Dosis (mg/l)	27	27	27	27	27	27
Volumen (ml)	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
Tiempo (min)	01	02	03	04	05	10
Ensayo						
G= 50 s ⁻¹ ≈ 38RPM	33.00	36.50	14.90	39.70	11.30	25.20
Probeta de 250 ml						
Profundidad de lodos (h):	2.40	cm				
Tiempo de generación de lodos (t):	10.00	min				
Velocidad de Sedimentación (Vs):	0.24	cm/min				
Velocidad de Sedimentación (Vs):	0.0040	cm/seg				
Volumen de lodos generados (Vld):	32.00	ml				

Anexo N° 06. Ensayo de la muestra de Punku Punku con policloruro de aluminio.

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Dosis (mg/lit)	10	15	20	25	30	35
Volumen (ml)	1.33	2.00	2.67	3.33	4.00	4.67
Primer Ensayo						
Turbiedad E1-03min	72.00	63.00	61.30	60.80	58.40	78.50
Turbiedad E1-05min	15.50	17.30	17.00	12.80	12.70	20.10
Segundo Ensayo						
Turbiedad E2-03min	253.00	202.00	123.00	82.20	96.70	91.30
Turbiedad E2-05min	105.00	80.60	41.80	28.50	32.40	29.50
Tercer Ensayo						
Turbiedad E3-03min	482.00	395.00	264.00	165.00	218.00	220.00
Turbiedad E3-05min	177.00	94.00	108.00	64.20	69.30	76.40
Cuarto Ensayo						
Turbiedad E4-03min	138.00	87.20	74.00	51.80	102.00	134.00
Turbiedad E4-05min	67.90	55.20	22.30	19.90	37.50	40.60

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
Dosis (mg/lit)	25	25	25	25	25	25
Volumen (ml)	6.67	3.33	2.22	1.67	1.33	1.11
Primer Ensayo						
Turbiedad E1-03min	153.00	64.90	39.90	27.00	31.80	34.00
Turbiedad E1-05min	38.20	12.90	6.42	14.70	14.80	16.40
Segundo Ensayo						
Turbiedad E2-03min	204.00	85.20	63.80	43.70	66.00	50.90
Turbiedad E2-05min	63.60	32.50	10.50	10.30	13.10	13.80
Tercer Ensayo						
Turbiedad E3-03min	229.00	83.90	82.90	46.10	58.70	61.20
Turbiedad E3-05min	33.70	17.20	48.10	16.20	19.90	24.20

DETERMINACIÓN DEL PH ÓPTIMO						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Dosis (mg/lit)	21	24	25	27	30	33
Volumen (ml)	2.10	2.40	2.50	2.70	3.00	3.30
Primer Ensayo pH = 8.50						
Turbiedad E1-03min,	61.60	58.60	66.40	54.50	66.30	68.50
Turbiedad E1-05min,	18.80	17.30	17.10	16.60	29.20	30.20
Segundo Ensayo pH = 8.00						
Turbiedad E1-03min,	84.90	83.40	88.20	69.10	91.70	81.30
Turbiedad E1-05min,	28.60	29.70	30.10	21.60	58.30	56.10
Tercer Ensayo pH = 7.00						
Turbiedad E1-03min,	145.00	148.00	121.00	119.00	122.00	114.00
Turbiedad E1-05min,	49.60	38.50	39.00	35.60	56.10	62.60
Cuarto Ensayo pH = 6.00						
Turbiedad E1-03min,	178.00	153.00	141.00	142.00	188.00	101.00
Turbiedad E1-05min,	80.80	68.80	69.80	65.70	75.70	69.80

DETERMINACIÓN DE FLOCULACIÓN						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Dosis (mg/lit)	27	27	27	27	27	27
Volumen (ml)	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
Tiempo (min)	05	10	15	20	25	30
Ensayo						
G= 20 s ⁻¹ ≈ 20RPM	19.90	16.90	15.50	14.00	13.10	13.00
G= 30 s ⁻¹ ≈ 28RPM	14.10	18.50	11.70	11.60	9.99	10.20
G= 50 s ⁻¹ ≈ 38RPM	12.70	8.55	10.80	6.83	5.06	4.94
G= 60 s ⁻¹ ≈ 45RPM	43.90	24.10	9.28	11.30	8.67	8.60
G= 80 s ⁻¹ ≈ 55RPM	82.90	31.90	16.90	15.20	8.96	15.70

VALORES CRÍTICOS DE PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN

JARRA	01	02	03	04	05	06
Tiempo (min)	05	10	15	20	25	30
Gradiente (s-1)	44	48	58	51	51	52

Se aplicará teoría de Mínimos Cuadrados a la ecuación de la recta:

$$y = a + bx$$

$$\log G = a + b \cdot \log T$$

MÍNIMOS CUADRADOS				
Item	x	y	xy	x ²
n	LogT	LogG	LogT.LogG	LogT ²
01	0.698970004	1.643452676	1.148724124	0.488559067
02	1.000000000	1.681241237	1.681241237	1.000000000
03	1.176091259	1.763427994	2.073952249	1.383190650
04	1.301029996	1.707570176	2.221600019	1.692679050
05	1.397940009	1.707570176	2.387080667	1.954236268
06	1.477121255	1.716003344	2.534745012	2.181887201
Σ	7.051152522	10.21926560	12.04734331	8.700552235

Se procede de la siguiente manera de acuerdo a Mínimos Cuadrados:

$$\sum_{i=1}^n Y_i = a n + b \sum_{i=1}^n X_i \quad (\alpha)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i X_i = a \sum_{i=1}^n X_i + b \sum_{i=1}^n X_i^2 \quad (\beta)$$

De esta forma se determinan los valores de a y b:

$$\begin{array}{l}
 (\alpha) \quad 10.21926560 = a \quad 6.000000000 + b \quad 7.051152522 \\
 (\beta) \quad 12.04734331 = a \quad 7.051152522 + b \quad 8.700552235
 \end{array}$$

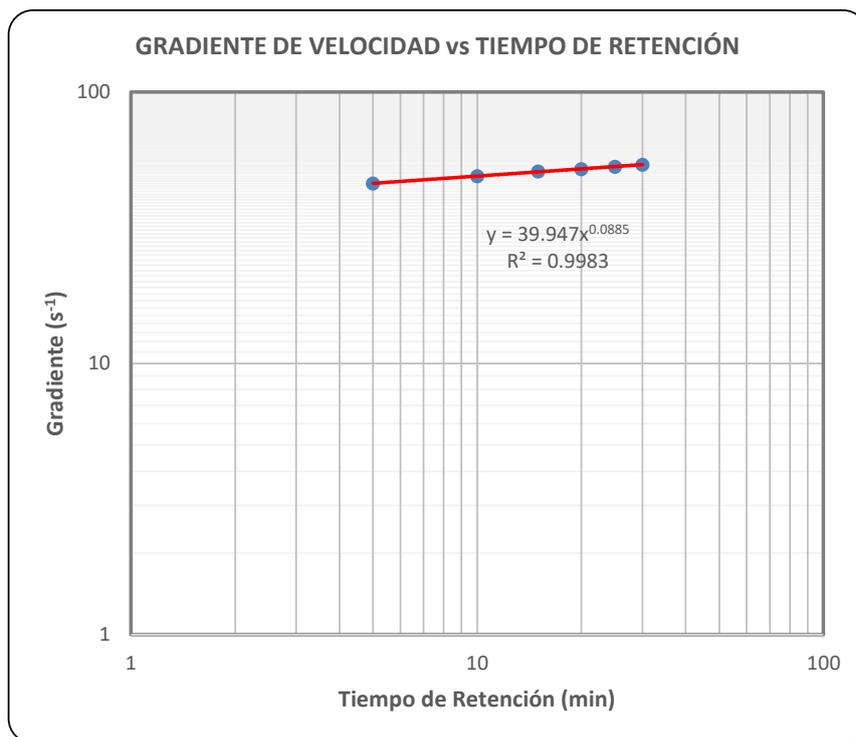
a	=	1.596096132
b	=	0.091146633

Reemplazamos los valores obtenidos en la ecuación de la recta, obteniéndose lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 \log G &= a + b \cdot \log T \\
 \log G &= 1.596096 + 0.091147 \cdot \log T \\
 \log G - 0.091147 \cdot \log T &= 1.596096 \\
 \log G \times T^{-0.091147} &= 1.596096 \\
 G \times T^{-0.091147} &= 10^{1.596096}
 \end{aligned}$$

VALORES CRÍTICOS DE PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN CORREGIDOS

JARRA	01	02	03	04	05	06
Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Gradiente (s-1)	46	49	51	52	53	54



DETERMINACIÓN DE SEDIMENTACIÓN						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Dosis (mg/lt)	27	27	27	27	27	27
Volumen (ml)	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
Tiempo (min)	01	02	03	04	05	10
Ensayo						
G= 50 s ⁻¹ ≈ 38RPM	387.00	213.00	103.00	51.30	20.50	9.34
Probeta de 250 ml						
Profundidad de lodos (h):	2.30	cm				
Tiempo de generación de lodos (t):	10.00	min				
Velocidad de Sedimentación (Vs):	0.23	cm/min				
Velocidad de Sedimentación (Vs):	0.0038	cm/seg				
Volumen de lodos generados (Vld):	28.00	ml				

Anexo N° 07. Ensayo de la muestra de La Moya con sulfato de aluminio Tipo A.

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dosis (mg/lit)	10	15	20	25	30	35
Volumen (ml)	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00
Primer Ensayo						
Turbiedad E1-03min	90.70	54.40	54.40	52.30	48.10	78.40
Turbiedad E1-05min	26.80	23.40	13.60	9.78	10.70	11.10
Segundo Ensayo						
Turbiedad E2-03min	53.40	38.70	52.80	50.10	42.40	117.00
Turbiedad E2-05min	25.20	20.90	11.00	12.30	10.60	19.10
Tercer Ensayo						
Turbiedad E3-03min	84.20	64.10	65.50	61.80	79.30	84.60
Turbiedad E3-05min	37.50	25.90	21.30	20.50	17.70	18.90
Cuarto Ensayo						
Turbiedad E4-03min	47.20	40.70	15.70	27.20	34.00	52.70
Turbiedad E4-05min	22.00	16.00	11.50	9.02	8.09	10.90
Quinto Ensayo						
Turbiedad E5-03min	56.70	31.30	24.10	23.90	20.70	23.40
Turbiedad E5-05min	24.60	13.40	12.90	11.40	11.30	24.20

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
Dosis (mg/lit)	30	30	30	30	30	30
Volumen (ml)	8.00	4.00	2.67	2.00	1.60	1.33
Primer Ensayo						
Turbiedad E1-03min	104.00	35.10	32.80	33.20	29.40	34.50
Turbiedad E1-05min	22.70	11.30	10.20	12.30	12.40	13.10
Segundo Ensayo						
Turbiedad E2-03min	38.10	19.60	20.30	22.50	24.00	27.30
Turbiedad E2-05min	14.50	7.45	9.81	11.30	15.20	15.20
Tercer Ensayo						
Turbiedad E3-03min	48.80	17.10	19.00	22.90	25.10	31.80
Turbiedad E3-05min	12.50	4.99	7.97	9.56	10.30	15.70
Cuarto Ensayo						
Turbiedad E4-03min	36.60	17.30	18.70	26.30	27.20	34.60
Turbiedad E4-05min	15.50	8.17	10.40	12.60	13.80	16.20

DETERMINACIÓN DEL PH ÓPTIMO						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dosis (mg/lit)	26	28	30	32	34	36
Volumen (ml)	5.20	5.60	6.00	6.40	6.80	7.20
Primer Ensayo pH = 8.50						
Turbiedad E1-03min,	28.60	27.20	21.40	22.40	24.90	24.90
Turbiedad E1-05min,	9.28	9.26	8.64	9.27	11.50	9.72
Segundo Ensayo pH = 8.00						
Turbiedad E1-03min,	37.90	40.80	37.00	36.20	29.30	31.10
Turbiedad E1-05min,	10.30	11.40	9.26	9.36	9.19	9.32
Tercer Ensayo pH = 7.00						
Turbiedad E1-03min,	27.00	28.00	23.90	27.50	24.90	25.30
Turbiedad E1-05min,	8.42	5.16	9.76	4.10	5.94	6.68
Cuarto Ensayo pH = 6.00						
Turbiedad E1-03min,	65.30	61.80	60.30	61.60	63.30	64.50
Turbiedad E1-05min,	31.80	28.90	24.60	24.80	26.50	27.70

DETERMINACIÓN DE FLOCULACIÓN						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dosis (mg/lit)	30	30	30	30	30	30
Volumen (ml)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Tiempo (min)	05	10	15	20	25	30
Ensayo						
G= 20 s ⁻¹ ≈ 20RPM	17.90	21.30	15.20	14.00	15.30	12.70
G= 30 s ⁻¹ ≈ 28RPM	12.00	9.61	9.29	8.03	8.22	9.37
G= 50 s ⁻¹ ≈ 38RPM	8.74	7.37	6.20	5.76	5.92	6.10
G= 60 s ⁻¹ ≈ 45RPM	46.50	11.30	6.10	6.41	8.56	9.48
G= 80 s ⁻¹ ≈ 55RPM	53.80	11.60	8.42	7.31	7.43	5.78

VALORES CRÍTICOS DE PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN

JARRA	01	02	03	04	05	06
Tiempo (min)	05	10	15	20	25	30
Gradiente (s-1)	47	46	56	53	49	46

Se aplicará teoría de Mínimos Cuadrados a la ecuación de la recta:

$$y = a + bx$$

$$\log G = a + b \cdot \log T$$

MÍNIMOS CUADRADOS				
Item	x	y	xy	x ²
n	LogT	LogG	LogT.LogG	LogT ²
01	0.698970004	1.672097858	1.168746247	0.488559067
02	1.000000000	1.662757832	1.662757832	1.000000000
03	1.176091259	1.748188027	2.056028658	1.383190650
04	1.301029996	1.724275870	2.243334627	1.692679050
05	1.397940009	1.690196080	2.362792723	1.954236268
06	1.477121255	1.662757832	2.456094935	2.181887201
Σ	7.051152522	10.16027350	11.94975502	8.700552235

Se procede de la siguiente manera de acuerdo a Mínimos Cuadrados:

$$\sum_{i=1}^n Y_i = a n + b \sum_{i=1}^n X_i \quad (\alpha)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i X_i = a \sum_{i=1}^n X_i + b \sum_{i=1}^n X_i^2 \quad (\beta)$$

De esta forma se determinan los valores de a y b:

$$\begin{array}{l}
 (\alpha) \quad 10.16027350 = a \cdot 6.000000000 + b \cdot 7.051152522 \\
 (\beta) \quad 11.94975502 = a \cdot 7.051152522 + b \cdot 8.700552235
 \end{array}$$

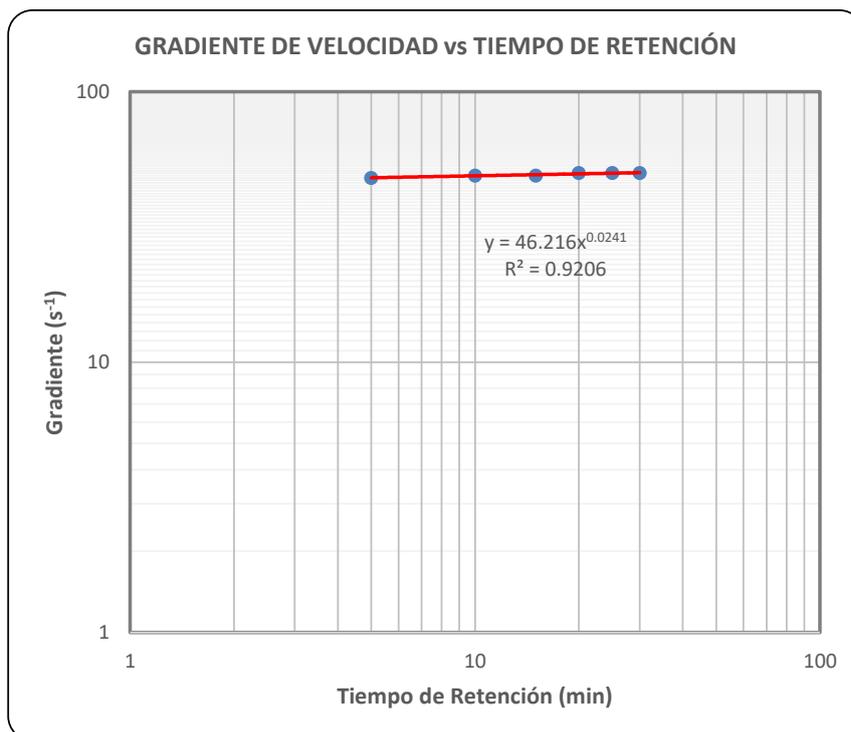
a	=	1.666469116
b	=	0.022898214

Reemplazamos los valores obtenidos en la ecuación de la recta, obteniéndose lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 \log G &= a + b \cdot \log T \\
 \log G &= 1.666470 + 0.022898 \cdot \log T \\
 \log G - 0.022898 \cdot \log T &= 1.666470 \\
 \log G \times T^{-0.022898} &= 1.666470 \\
 G \times T^{-0.022898} &= 10^{1.666470}
 \end{aligned}$$

VALORES CRÍTICOS DE PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN CORREGIDOS

JARRA	01	02	03	04	05	06
Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Gradiente (s-1)	48	49	49	50	50	50



DETERMINACIÓN DE SEDIMENTACIÓN						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dosis (mg/l)	30	30	30	30	30	30
Volumen (ml)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Tiempo (min)	01	02	03	04	05	10
Ensayo						
G= 50 s ⁻¹ ≈ 38RPM	119.00	73.20	42.30	22.20	10.30	7.08
Probeta de 250 ml						
Profundidad de lodos (h):	1.10	cm				
Tiempo de generación de lodos (t):	10.00	min				
Velocidad de Sedimentación (Vs):	0.11	cm/min				
Velocidad de Sedimentación (Vs):	0.0018	cm/seg				
Volumen de lodos generados (Vld):	13.20	ml				

Anexo N° 08. Ensayo de la muestra de Punku Punku con sulfato de aluminio Tipo A.

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dosis (mg/lit)	10	15	20	25	30	35
Volumen (ml)	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00
Primer Ensayo						
Turbiedad E1-03min	136.00	71.60	53.10	52.70	45.90	50.10
Turbiedad E1-05min	54.80	28.60	19.20	16.70	13.40	14.30
Segundo Ensayo						
Turbiedad E2-03min	108.00	48.80	38.60	53.60	39.40	46.00
Turbiedad E2-05min	36.30	18.70	10.70	8.98	7.93	11.10
Tercer Ensayo						
Turbiedad E3-03min	110.00	74.10	49.10	46.00	44.10	46.30
Turbiedad E3-05min	42.60	24.60	15.40	13.50	11.30	13.60
Cuarto Ensayo						
Turbiedad E4-03min	288.00	103.00	60.00	47.50	37.10	59.50
Turbiedad E4-05min	103.00	36.20	21.60	16.40	13.00	10.50

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
Dosis (mg/lit)	30	30	30	30	30	30
Volumen (ml)	8.00	4.00	2.67	2.00	1.60	1.33
Primer Ensayo						
Turbiedad E1-03min	250.00	91.80	93.80	102.00	131.00	163.00
Turbiedad E1-05min	66.90	27.30	27.30	32.70	56.10	81.70
Segundo Ensayo						
Turbiedad E2-03min	215.00	136.00	113.00	122.00	132.00	190.00
Turbiedad E2-05min	63.60	22.50	31.40	35.50	45.60	58.90
Tercer Ensayo						
Turbiedad E3-03min	148.00	62.00	48.10	42.90	33.70	41.00
Turbiedad E3-05min	27.50	6.10	9.31	8.31	10.70	26.50
Cuarto Ensayo						
Turbiedad E4-03min	74.30	29.70	19.20	20.60	26.80	27.20
Turbiedad E4-05min	30.00	9.86	7.60	9.03	9.04	13.00
Quinto Ensayo						
Turbiedad E5-03min	72.50	43.80	49.50	47.30	51.10	56.70
Turbiedad E5-05min	36.10	12.20	14.40	26.50	28.40	46.00

DETERMINACIÓN DEL PH ÓPTIMO						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dosis (mg/lit)	26	28	30	32	34	36
Volumen (ml)	5.20	5.60	6.00	6.40	6.80	7.20
Primer Ensayo pH = 8.50						
Turbiedad E1-03min,	18.60	17.80	11.70	23.00	12.40	11.80
Turbiedad E1-05min,	6.87	6.75	6.28	6.81	5.93	7.81
Segundo Ensayo pH = 8.00						
Turbiedad E1-03min,	40.40	38.70	36.70	47.90	44.70	49.80
Turbiedad E1-05min,	10.70	9.94	9.11	5.08	11.10	13.30
Tercer Ensayo pH = 7.00						
Turbiedad E1-03min,	37.30	35.10	21.20	27.40	27.20	30.90
Turbiedad E1-05min,	8.53	12.40	7.49	11.90	14.40	18.90
Cuarto Ensayo pH = 6.00						
Turbiedad E1-03min,	15.10	17.60	16.20	16.10	17.10	22.60
Turbiedad E1-05min,	7.80	7.86	9.42	9.08	9.71	11.00

DETERMINACIÓN DE FLOCULACIÓN						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dosis (mg/lit)	30	30	30	30	30	30
Volumen (ml)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Tiempo (min)	05	10	15	20	25	30
Ensayo						
G= 20 s ⁻¹ ≈ 20RPM	23.50	20.70	18.70	20.80	20.20	18.10
G= 30 s ⁻¹ ≈ 28RPM	14.10	10.00	11.50	13.90	10.70	8.87
G= 50 s ⁻¹ ≈ 38RPM	31.70	7.78	13.10	26.60	4.15	5.37
G= 60 s ⁻¹ ≈ 45RPM	52.80	17.00	3.99	7.17	3.50	10.40
G= 80 s ⁻¹ ≈ 55RPM	41.00	8.84	53.10	7.41	4.46	9.09

VALORES CRÍTICOS DE PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN

JARRA	01	02	03	04	05	06
Tiempo (min)	05	10	15	20	25	30
Gradiente (s-1)	29	45	58	63	55	46

Se aplicará teoría de Mínimos Cuadrados a la ecuación de la recta:

$$y=a+bx$$

$$\log G=a+b.\log T$$

MÍNIMOS CUADRADOS				
Item	x	y	xy	x ²
n	LogT	LogG	LogT.LogG	LogT ²
01	0.698970004	1.462397998	1.022172335	0.488559067
02	1.000000000	1.653212514	1.653212514	1.000000000
03	1.176091259	1.763427994	2.073952249	1.383190650
04	1.301029996	1.799340549	2.340996027	1.692679050
05	1.397940009	1.740362689	2.432922633	1.954236268
06	1.477121255	1.662757832	2.456094935	2.181887201
Σ	7.051152522	10.08149958	11.97935069	8.700552235

Se procede de la siguiente manera de acuerdo a Mínimos Cuadrados:

$$\sum_{i=1}^n Y_i = a n + b \sum_{i=1}^n X_i \quad (\alpha)$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i X_i = a \sum_{i=1}^n X_i + b \sum_{i=1}^n X_i^2 \quad (\beta)$$

De esta forma se determinan los valores de a y b:

$$\begin{array}{l}
 (\alpha) \quad \boxed{10.08149958} = a \quad \boxed{6.000000000} + b \quad \boxed{7.051152522} \\
 (\beta) \quad \boxed{11.97935069} = a \quad \boxed{7.051152522} + b \quad \boxed{8.700552235}
 \end{array}$$

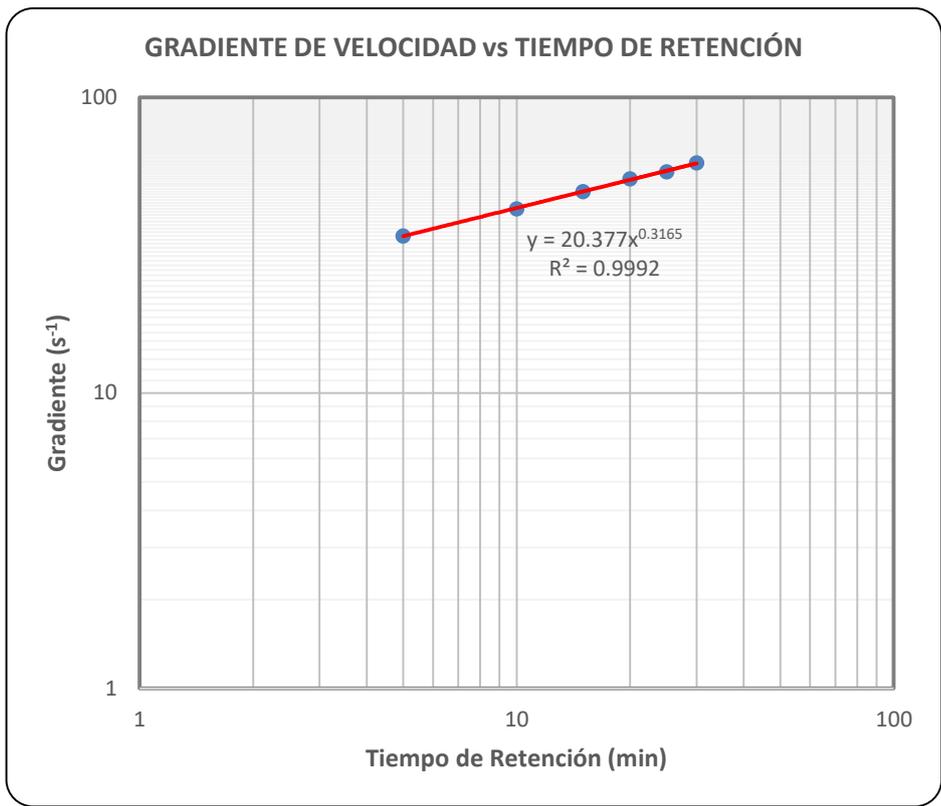
a	=	1.306622835
b	=	0.317928531

Reemplazamos los valores obtenidos en la ecuación de la recta, obteniéndose lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 \log G &= a + b.\log T \\
 \log G &= 1.306623 + 0.317929.\log T \\
 \log G - 0.317929.\log T &= 1.306623 \\
 \log G \times T^{-0.317929} &= 1.306623 \\
 G \times T^{-0.317929} &= 10^{1.306623}
 \end{aligned}$$

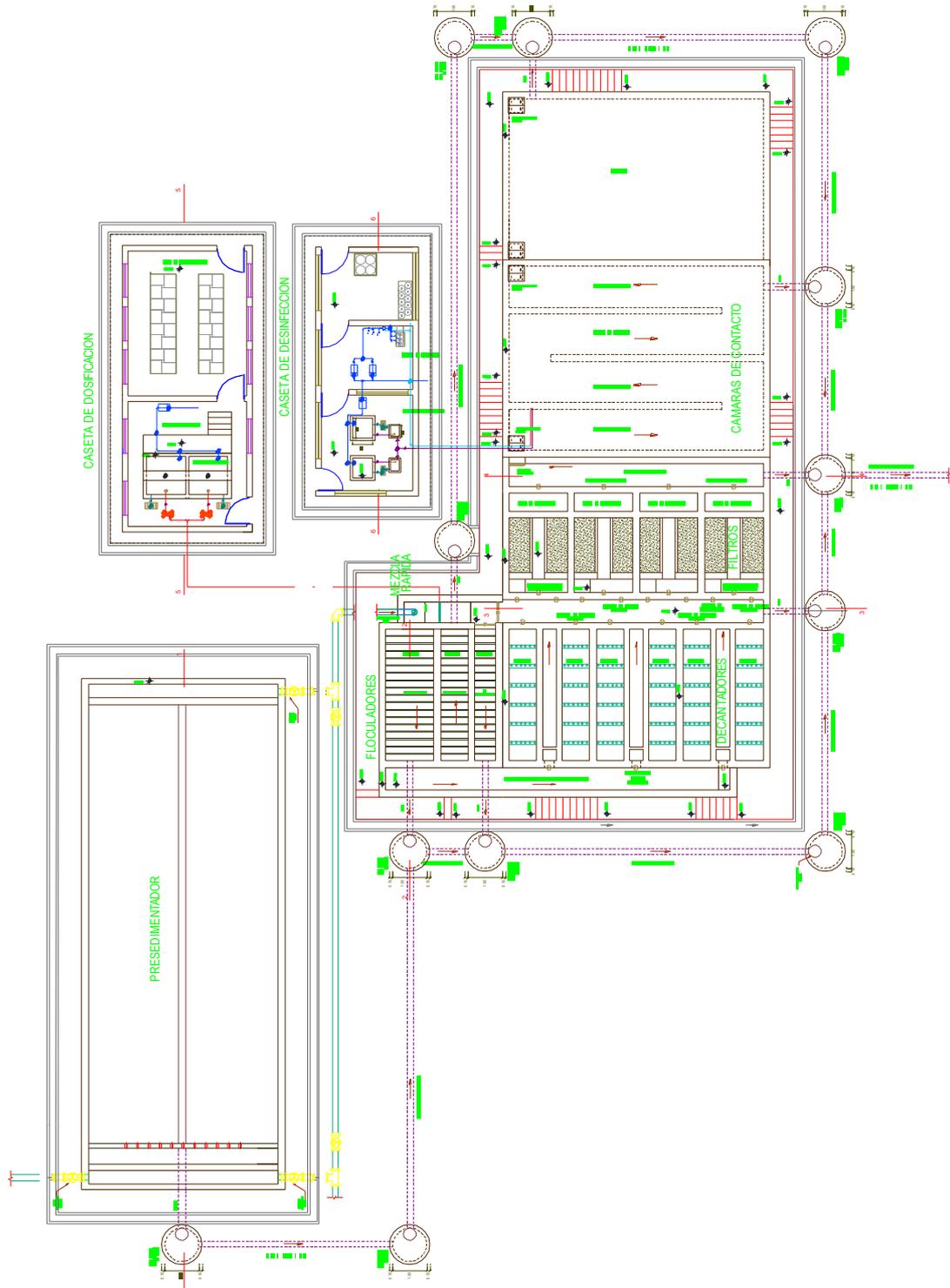
VALORES CRÍTICOS DE PARÁMETROS DE FLOCULACIÓN CORREGIDOS

JARRA	01	02	03	04	05	06
Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30
Gradiente (s-1)	34	42	48	53	56	60

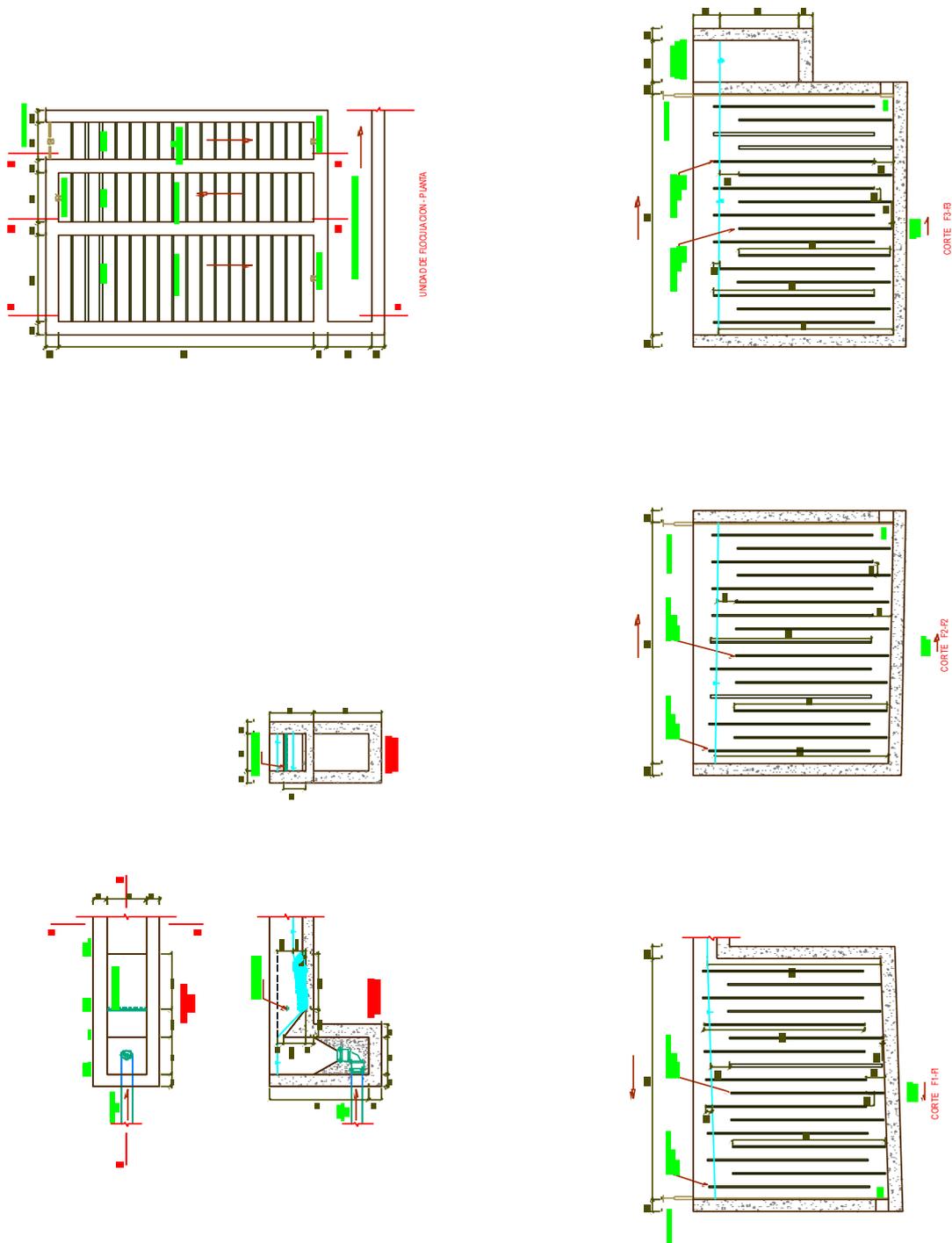


DETERMINACIÓN DE SEDIMENTACIÓN						
JARRA	01	02	03	04	05	06
C%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Dosis (mg/l)	30	30	30	30	30	30
Volumen (ml)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Tiempo (min)	01	02	03	04	05	10
Ensayo						
G= 60 s ⁻¹ ≈ 45RPM	142.00	51.40	35.70	15.70	13.00	7.77
Probeta de 250 ml						
Profundidad de lodos (h):	1.80	cm				
Tiempo de generación de lodos (t):	10.00	min				
Velocidad de Sedimentación (Vs):	0.18	cm/min				
Velocidad de Sedimentación (Vs):	0.0030	cm/seg				
Volumen de lodos generados (Vld):	22.00	ml				

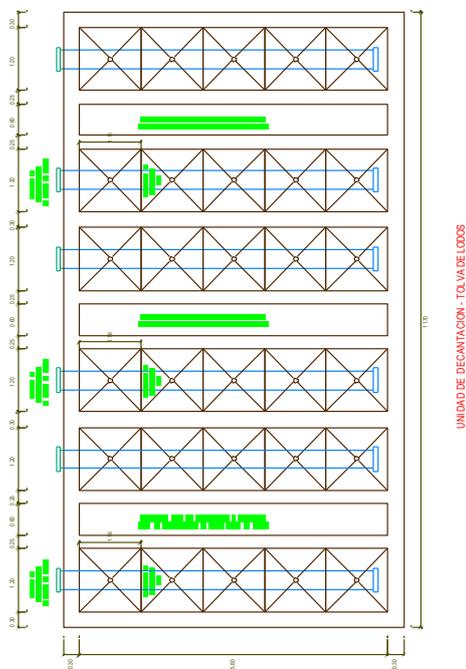
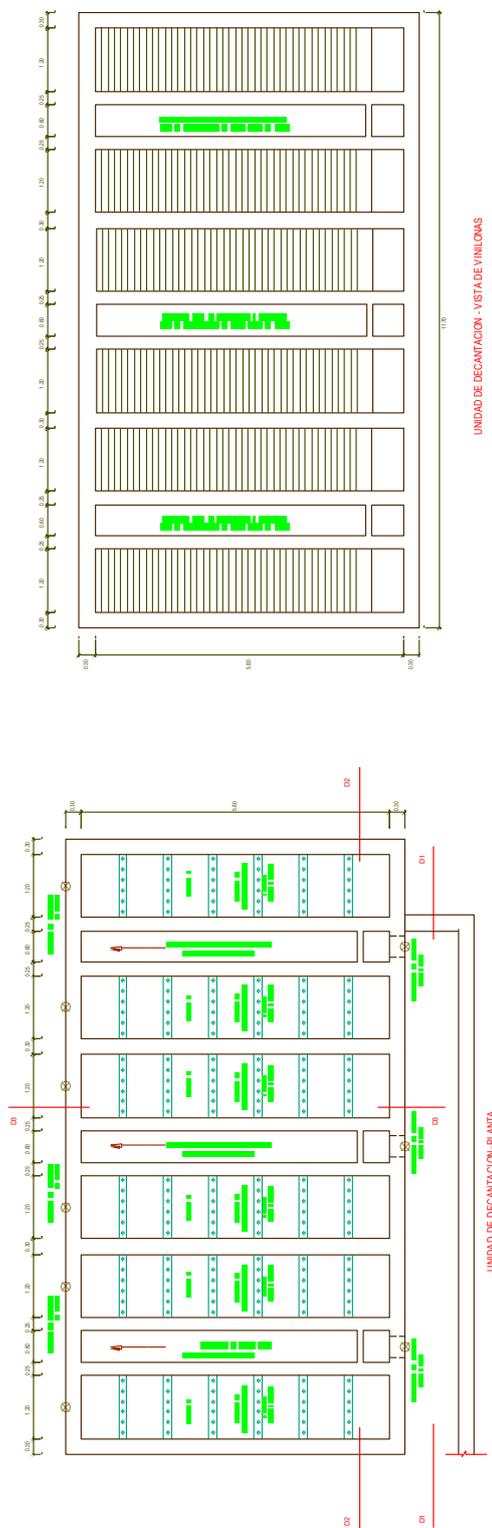
Anexo N° 09. Plano de la PTAP - Plano general - Propuesta de mejora.



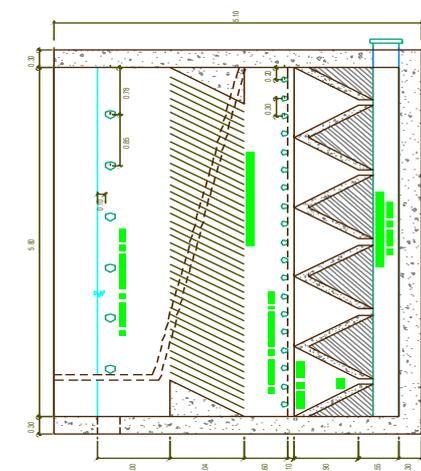
Anexo N° 10. Plano de la unidad de mezcla rápida y floculación (planta y cortes) - Propuesta de mejora.



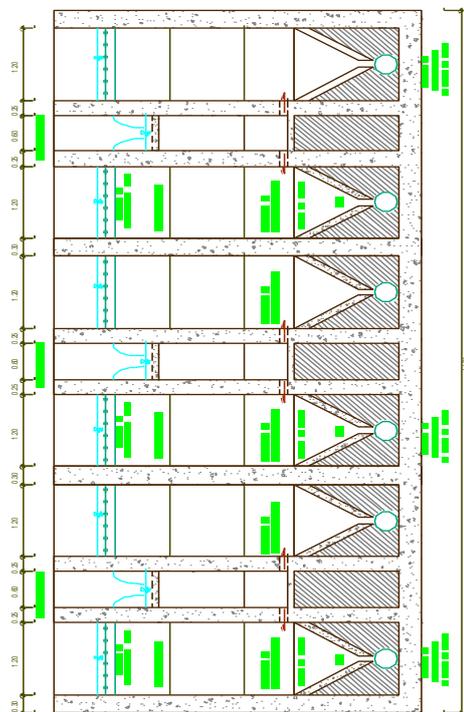
Anexo N°11. Plano de la unidad de decantación (planta y cortes) - Propuesta de mejora.



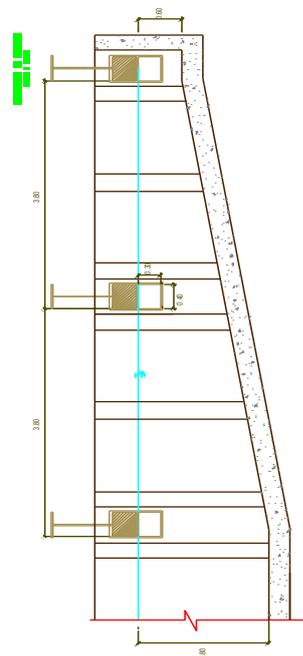
Anexo N° 12. Plano de la unidad de decantación (cortes) - Propuesta de mejora.



CORTE D3 - D3

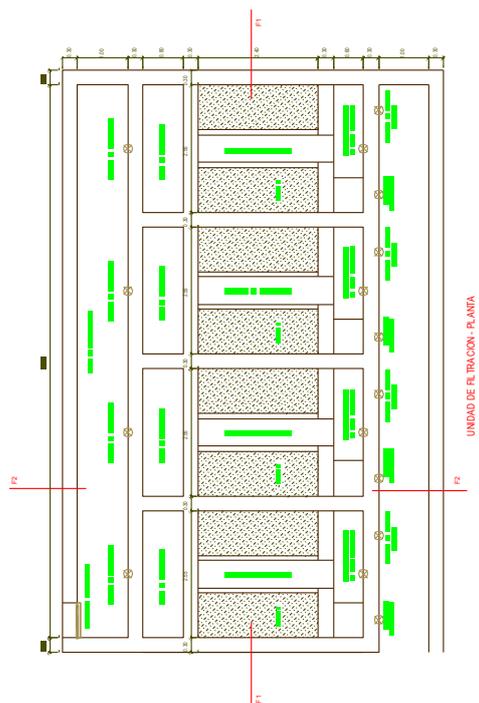
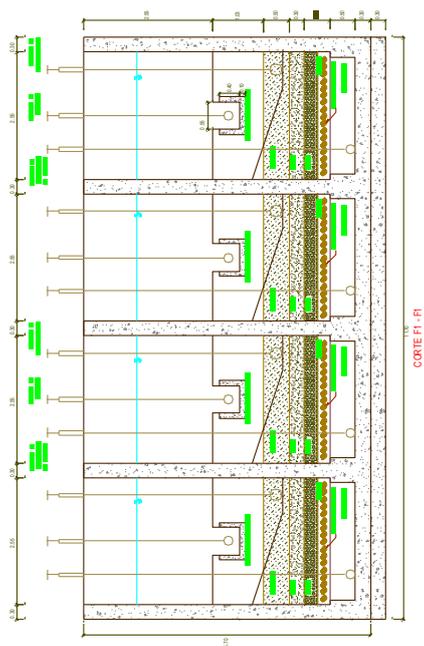
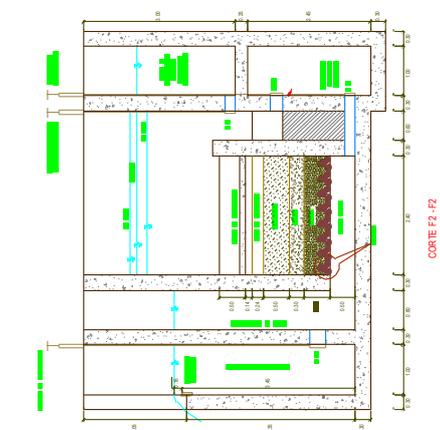


CORTE D2 - D2

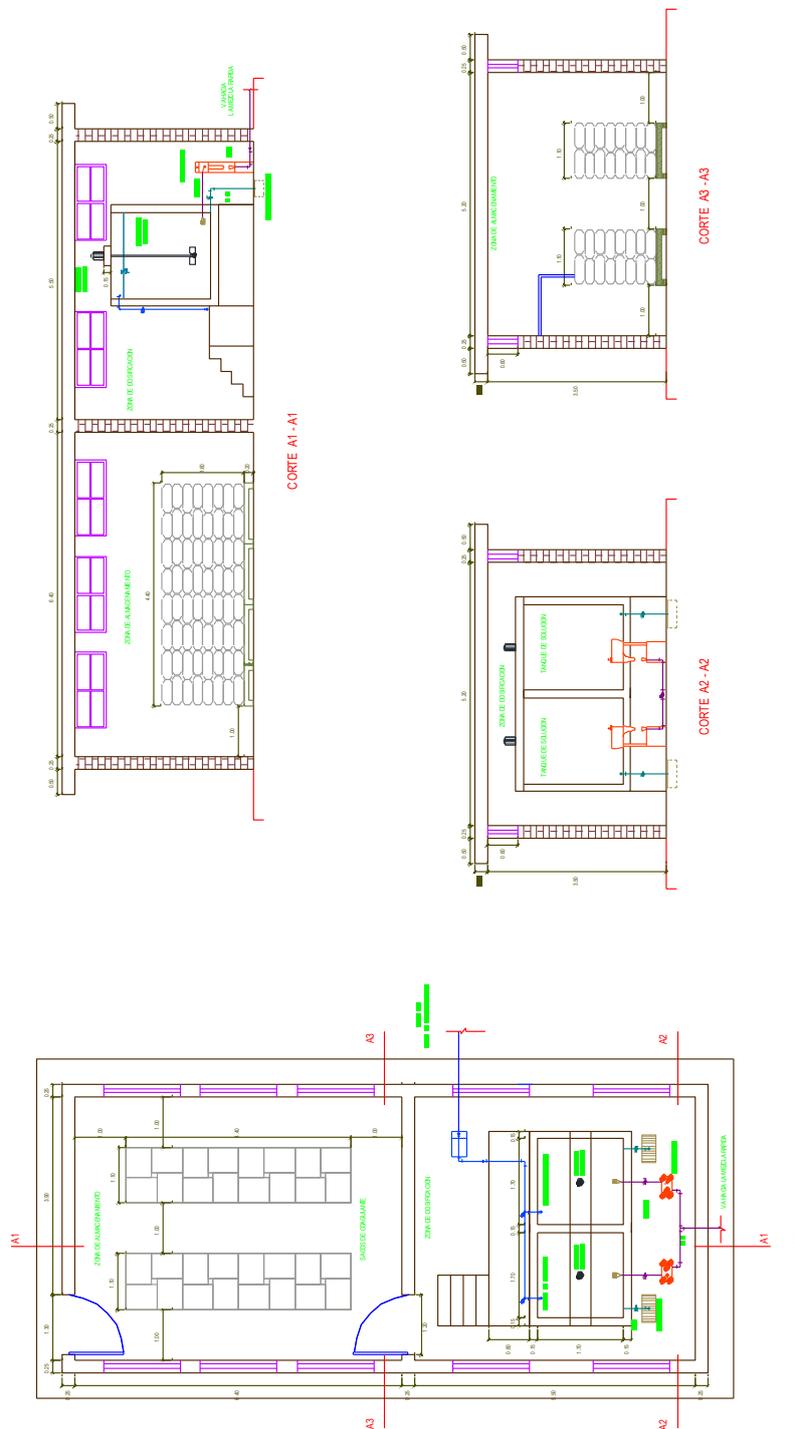


CORTE D1 - D1

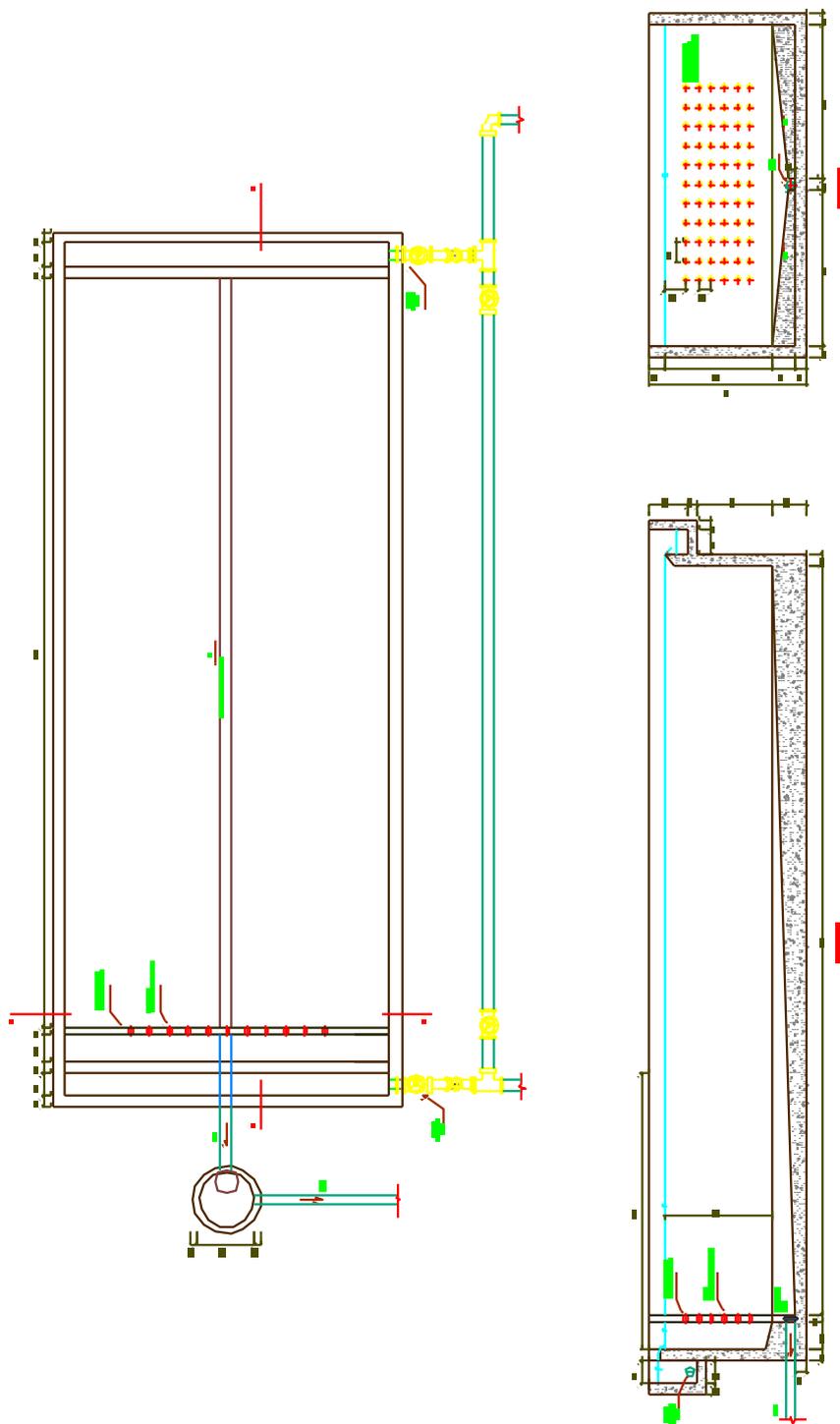
Anexo N° 13. Plano de filtración rápida - Planta y cortes - Propuesta de mejora.



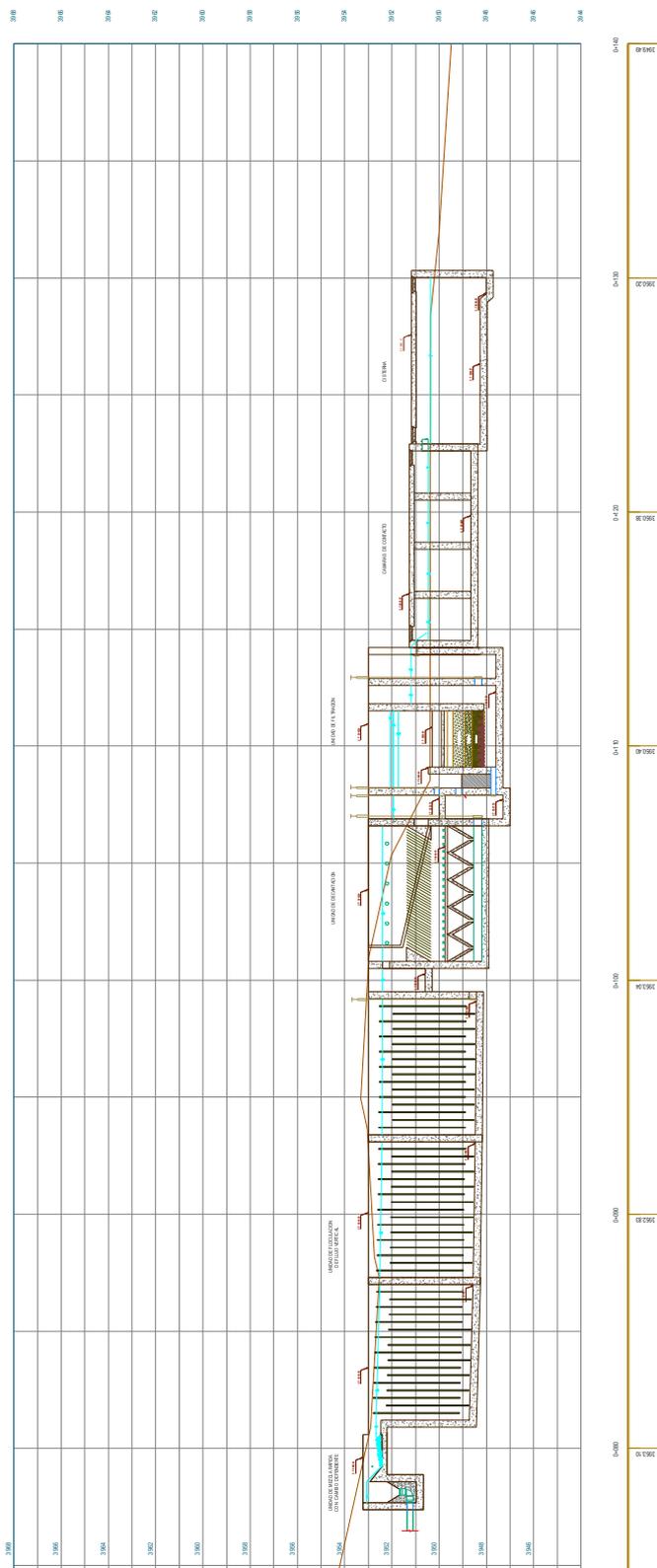
Anexo N° 15. Plano de la caseta de dosificación y almacén - Propuesta de mejora.



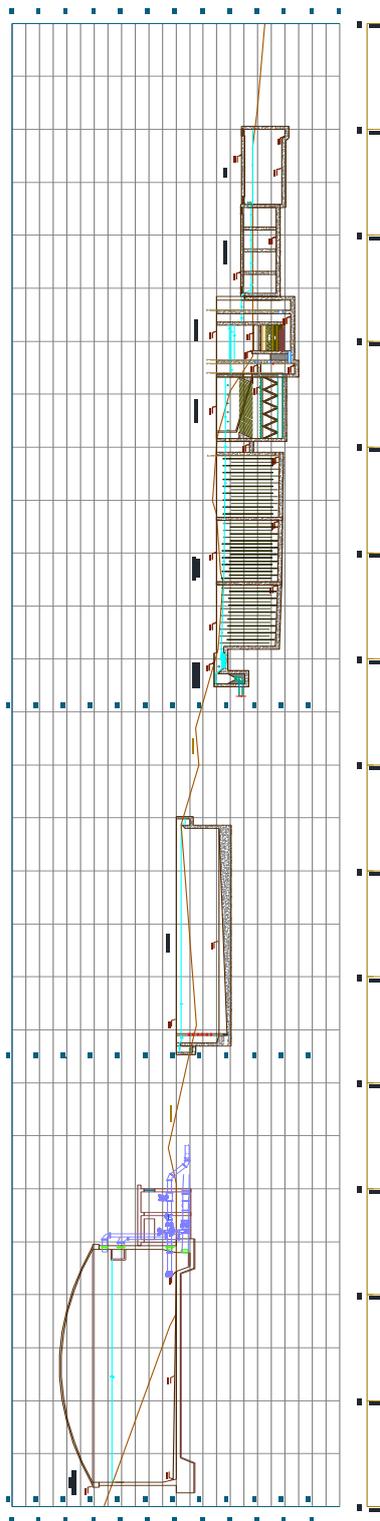
Anexo N° 16. Plano de la unidad de pre sedimentación - Propuesta de mejora.



Anexo N° 17. Perfil hidráulico - PTAP - Propuesta de mejora.



Anexo N° 18. Perfil hidráulico - Tanque, sedimentador y PTAP - Propuesta de mejora.



Anexo N° 19. Cálculo del VAN y TIR.

Para la determinación del cálculo del VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno), se tomó como referencia la inversión que se requiere para la construcción de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, determinando de esta manera si la propuesta planteada es viable o no. Los datos que se consideró para dicha evaluación corresponden al "EXPEDIENTE DE LA OBRA: RECONSTRUCCIÓN DE LA INFRAESTRUTURA DE SANEAMIENTO VILLA RICA - OXAPAMPA - PASCO".

ITEM	<u>DESCRIPCIÓN</u>	COSTOS DIRECTOS S/.
1	Red de Agua Potable	S/ 4,852,232.97
2	Sistema de alcantarillado sanitario	S/ 5,852,847.59
3	Mejoramiento de Estructura de Captación	S/ 187,881.76
4	Mejoramiento de Estructura Desarenador	S/ 41,663.64
5	Estructuras Proyectadas	S/ 391,710.77
6	Mejoramiento de planta de Tratamiento de Agua Potable	S/ 1,698,676.86
7	Costrucción y Mejoramiento de Reservorios	S/ 1,079,723.05
8	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	S/ 17,353,138.84
9	Defensa Ribereña y Protección de Talud en PTAR	S/ 4,102,978.41
10	Costo Directo (CD)	S/ 35,560,853.89
11	Gastos Generales (10% C.D.)	S/ 3,556,085.39
12	Utilidades	S/ 3,556,085.39
13	Supervisión	S/ 1,493,555.86
14	Costo Total	S/ 42,673,024.67
15	Elaboración de Expediente Técnico	S/ 1,087,125.00
16	Costo Total de Inversión	S/ 54,830,856.76

La inversión que se requerirá para la propuesta de la Planta de Tratamiento de Agua Potable asciende a S/ 1 698 676.86; el cálculo de VAN es para determinar la rentabilidad de la inversión, en la cual el valor debe ser positivo, para ser viable, ya que se recuperará la inversión en un tiempo determinado; en cuanto, al valor del TIR debe ser superior a cero, indicando la rentabilidad del proyecto.

Realizando los cálculos, el VAN es superior a cero, y el TIR tiene un valor de 20.78 %, lo que indican que la propuesta formulada es rentable y viable.

CÁLCULO del VAN y la TIR

Esta hoja te permite calcular fácilmente el Valor Actual Neto (V.A.N.) y la Tasa Interna de Retorno (T.I.R.) de un negocio o proyecto de inversión. Pon tus datos en las celdas con fondo blanco. Tienes todas las explicaciones a la derecha.

1 Datos para el análisis						
Inversión	importe	1,698,677				
		AÑOS				
	inversión	1	2	3	4	5
Flujo de caja (neto anual)	-1,698,677	500,000	500,000	600,000	700,000	700,000

2 Cálculo del V.A.N. y la T.I.R.	
Tasa de descuento	10.00% <small>◀ Pon la tasa de descuento aquí</small>
V.A.N a cinco años	532,634.96 <small>Valor positivo, inversión (en principio) factible</small>
T.I.R a cinco años	20.78% <small>Valor superior a la tasa, inversión (en principio) factible</small>

información

[¿Qué poner aquí?](#)

[La tasa de descuento](#)

[¿Qué es el VAN?](#)
[¿Cómo se calcula?](#)
[Análisis resultado](#)

[¿Qué es la TIR?](#)
[¿Cómo se calcula?](#)
[Análisis resultado](#)