



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

*“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
DEL CANTÓN CEVALLOS”*

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR

ANA CRISTINA GUANANGA PUJOS

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

A Dios por darme la bendición para lograr mis metas, por darme una familia emprendedora con deseos de superación, a mis padres Bolívar y Cecilia, mis hermanos Alexandra, Alejandro, Javier y Anthony, quienes con su amor, comprensión y compañía son un pilar fundamental de mi vida brindándome su apoyo incondicional y el aliento para superarme.

Al GAD Municipal del cantón Cevallos, quienes auspiciaron esta investigación, en especial al Sr. Alcalde Bayardo Constante por su fe y apoyo con la juventud estudiosa, a la Ing. Catty Velasteguí, Responsable de la planta de tratamiento Sta. Marianita, por su valiosa colaboración y amistad.

Un especial agradecimiento y reconocimiento al Ing. José Usiña y al Ing. Marco Chuiza por el apoyo brindado, quienes aportaron sus amplios conocimientos para lograr la culminación de este trabajo de investigación.

El presente trabajo simplemente es la respuesta a la gran confianza que han depositado en mí aquellos seres que por ese sentimiento al cual llamamos amor, me brindan su apoyo incondicional. A ellos mi trabajo. A mis abnegados padres Bolívar y Cecilia, les entrego la contestación a tanta confianza y amor.

A Dios por permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida. Por los triunfos y momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

HOJA DE FIRMAS

NOMBRE	FIRMA	FECHA
- Dr. Silvio Álvarez Luna
DECANO FAC. CIENCIAS		
- Ing. Mario Villacrés
DIRECTOR ESCUELA		
INGENIERÍA QUÍMICA		
- Ing. José Usiña
DIRECTOR DE TESIS		
- Ing. Marco Chuiza
MIEMBRO TRIBUNAL		
- Lic. Carlos Rodríguez
DIRECTOR DEL CENTRO		
DE DOCUMENTACIÓN		
NOTA DE LA TESIS

Yo ANA CRISTINA GUANANGA PUJOS,
soy responsable de todas las ideas, doctrinas y
resultados expuestos en esta tesis de grado y el
patrimonio intelectual de la tesis de grado
pertenece a la ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

a	Ancho de la zona de sedimentación
A	Área del sedimentador
Ah	Área hidráulica del seditubo
Al	Área de la zona de sedimentación
am	Ancho del módulo de seditubos
Am	Área del módulo de seditubos
APHA	American Public Health Association
as	Ancho del sedimentador
B	Ancho del vertedero
C	Consumo de hipoclorito de calcio al 70 %
Cd	Concentración de solución de PAC para la dosificación
cm	Centímetro
COD	Código de la muestra
Cs	Carga superficial equivalente después de instalados los módulos
Csa	Carga superficial actual del sedimentador
Ct	Concentración de la Solución de trabajo
d	Dosis de cloro
D	Dosis adecuada de PAC según la prueba de jarras

e	Ancho del seditubo
ee	Espesor de las láminas, ee
f	Factor de simplificación
F1	Número de Froude en la sección 1
G	Gradiente de velocidad
g	Gravedad
GAD	Gobierno autónomo descentralizado
H	Carga disponible, altura de la lámina de agua.
h	Pérdida de carga en el resalto
h1	Altura del agua en la sección 1
h2	Altura del agua en la sección 2
hc	Altura crítica
Km	Kilómetros
L	Litros
l	Altura del módulo de seditubos
la	Largo de la zona de sedimentación
Lm	Distancia del vertedero a la sección 1
lm	Largo del módulo de seditubos
Ls	Largo del sedimentador

m	Metros
M	Muestra
Max	Máximo
mg	Miligramos
min	Minutos
mL	Mililitros
N	Número de seditubos necesarios para la zona de sedimentación
n	Número de tubos por módulo
Nre	Número de Reynolds
ns	Número de sedimentadores
NTE	Norma técnica ecuatoriana
NTU	Unidad nefelométrica de turbidez
P	Altura del vertedero
pH	Potencial de hidrógeno
PJ	Muestra para la prueba de jarras
ppm	Partes por millón
PQPAC	Producto químico Policloruro de aluminio
PVC	Policloruro de vinilo
Q	Caudal

q	Caudal específico
Qp	Caudal óptimo de coagulante para la planta de tratamiento
RP	Muestra para el análisis del Rendimiento de la planta
s	Segundos
S	Siemens
Sc	Constante S crítico para el tipo de sedimentador, Sc
SD	Sólidos disueltos
SM	Standar Methods
T	Temperatura
Ta	Tiempo de consumo del hipoclorito de calcio
te	Tiempo experimental necesario para llenar el PAC preparado en solución en un recipiente de V2
Tp	Tiempo de consumo del PAC
trt	Tiempo de retención
tt	Tiempo teórico necesario para aforar un volumen V2
U Pt-Co	Unidades platino cobalto
UFC	Unidades formadoras de colonias
v	Viscosidad cinemática
V	Volumen

V_o	Velocidad promedio del flujo a través del sedimentador
V_p	Consumo de PAC puro al día
V_s	Velocidad de caída de la partícula suspendida
V_{sc}	Velocidad crítica de sedimentación
W	Consumo de PAC en peso
w	Masa de PAC puro
X	% remoción de turbiedad del agua tratada con respecto al agua en la captación
θ	Ángulo de inclinación de los seditubos
μ	Micro
ρ	Densidad

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	xviii
ANTECEDENTES	xix
JUSTIFICACIÓN	xx
OBJETIVOS	xxi
1 MARCO TEÓRICO	- 2 -
1.1 AGUA POTABLE	- 2 -
1.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	- 2 -
1.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	- 3 -
1.1.3 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS	- 5 -
1.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	- 6 -
1.2.1 TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE.....	- 6 -
1.2.1.1 CAPTACIÓN	- 6 -
1.2.1.2 CONDUCCIÓN	- 7 -
1.2.1.3 PRESEDIMENTACIÓN.....	- 7 -
1.2.1.4 COAGULACIÓN.....	- 7 -
1.2.1.4.1 COAGULANTES	- 8 -
1.2.1.4.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN	- 10 -
1.2.1.5 FLOCULACIÓN.....	- 12 -
1.2.1.5.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN	- 13 -
1.2.1.6 SEDIMENTACIÓN	- 13 -
1.2.1.7 FILTRACIÓN	- 14 -
1.2.1.8 DESINFECCIÓN	- 15 -
1.2.2 CONTROL FINAL	- 15 -
1.2.2.1 CALIDAD DEL AGUA POTABLE.....	- 15 -
1.2.2.2 CONTROL Y MONITOREO	- 16 -
1.2.3 REQUISITOS DEL AGUA POTABLE	- 16 -
1.3 OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	- 16 -
1.3.1 PRECLORACIÓN	- 17 -

1.3.2	DOSIFICACIÓN DEL COAGULANTE.....	- 17 -
1.3.2.1	PARÁMETROS DE DOSIFICACIÓN	- 18 -
1.3.2.1.1	pH óptimo.....	- 18 -
1.3.2.1.2	Concentración óptima	- 18 -
1.3.2.1.3	Dosis óptima de coagulante (mg/L)	- 18 -
1.3.2.2	DOSIFICACIÓN EN SOLUCIÓN POR BOMBEO	- 19 -
1.3.3	MEZCLA RÁPIDA CON VERTEDEROS RECTANGULARES.....	- 20 -
1.3.4	REDISEÑO DE SEDIMENTADORES CONVENCIONALES	- 26 -
1.3.4.1	SEDIMENTADORES DE TASA ALTA	- 27 -
1.3.4.2	SEDIMENTADOR DE TASA ALTA CON PLACAS PARALELAS	- 27 -
1.3.4.3	SEDIMENTADOR DE ALTA TASA CON SEDITUBOS.	- 27 -
1.3.4.3.1	CRITERIOS DE DISEÑO DEL SEDIMENTADOR CON SEDITUBOS	- 30 -
2	PARTE EXPERIMENTAL.....	- 39 -
2.1	MUESTREO	- 39 -
2.1.1	TOMA DE MUESTRAS E INFORMACIÓN.....	- 39 -
2.1.2	TRANSPORTE Y MANIPULACIÓN DE MUESTRAS.....	- 40 -
2.2	METODOLOGÍA	- 41 -
2.2.1	EQUIPOS MATERIALES Y REACTIVOS	- 42 -
2.2.2	MÉTODOS.....	- 43 -
2.2.2.1	INDUCTIVO.....	- 44 -
2.2.2.2	DEDUCTIVO.....	- 44 -
2.2.2.3	EXPERIMENTAL	- 44 -
2.2.3	TÉCNICAS	- 44 -
2.3	DATOS EXPERIMENTALES	- 46 -
2.3.1	DIAGNÓSTICO.....	- 46 -
2.3.1.1	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN CEVALLOS.....	- 47 -
2.3.1.1.1	LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	- 47 -
2.3.1.1.2	UNIDADES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	- 47 -
2.3.1.1.3	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO ACTUAL	- 48 -

2.3.2 DATOS.....	- 51 -
2.3.2.1 CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA.....	- 51 -
2.3.2.2 RENDIMIENTO DE LA PLANTA.....	- 53 -
2.3.2.3 PRUEBA DE JARRAS.....	- 53 -
2.3.2.4 PARÁMETROS FUERA DE NORMA.....	- 54 -
3 CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	- 56 -
3.1 CÁLCULOS.....	- 56 -
3.1.1 RENDIMIENTO ACTUAL DE LA PLANTA.....	- 56 -
3.1.2 PRECLORACIÓN.....	- 57 -
3.1.3 MEZCLA RÁPIDA CON VERTEDEROS RECTANGULARES.....	- 60 -
3.1.4 DOSIFICACIÓN DEL COAGULANTE.....	- 66 -
3.1.4.1 PRUEBA DE JARRAS.....	- 66 -
3.1.4.2 DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN CEVALLOS.....	- 68 -
3.1.5 REDISEÑO DEL SEDIMENTADOR.....	- 74 -
3.2 RESULTADOS.....	- 81 -
3.2.1 CARACTERIZACIÓN FINAL DEL AGUA TRATADA.....	- 81 -
3.2.2 DETERMINACIÓN FINAL DEL RENDIMIENTO DE LA PLANTA.....	- 82 -
3.2.3 PRECLORACIÓN.....	- 82 -
3.2.4 MEZCLA RÁPIDA CON VERTEDEROS RECTANGULARES.....	- 83 -
3.2.5 DOSIFICACIÓN DEL COAGULANTE.....	- 83 -
3.2.6 REDISEÑO DEL SEDIMENTADOR.....	- 86 -
3.3 PROPUESTA.....	- 86 -
3.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	- 88 -
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	- 90 -
4.1 CONCLUSIONES.....	- 90 -
4.2 RECOMENDACIONES.....	- 90 -
BIBLIOGRAFÍA.....	- 91 -
ANEXOS.....	- 95 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Zonas de un Sedimentador Convencional	- 13 -
Figura 2 Equipo para Prueba de Jarras	- 19 -
Figura 3 Dosis Óptima de coagulante.....	- 19 -
Figura 4 Vertedero Rectangular.....	- 21 -
Figura 5 Sedimentador Convencional.....	- 26 -
Figura 6 Sedimentador con placas	- 26 -
Figura 7 Módulos de Sedimentación	- 28 -
Figura 8 Funcionamiento de los seditubos	- 29 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Sustancias tóxicas que puede presentar el agua.....	- 5 -
Tabla 2 Presentaciones del Policloruro de Aluminio PAC	- 10 -
Tabla 3 Tipos de mezcla	- 20 -
Tabla 4 Características del ABS y Poliestireno	- 28 -
Tabla 5 Criterios de diseño de un sedimentador con Seditubos	- 31 -
Tabla 6 Parámetro Sc según el tipo de sedimentador	- 33 -
Tabla 7 Codificación de las muestras para la caracterización físico Química y microbiológica	- 40 -
Tabla 8 Codificación de las muestras para el rendimiento de la planta.....	- 40 -
Tabla 9 Codificación de las muestras para la prueba de jarras.....	- 41 -
Tabla 10 Parámetros de Caracterización físico química y microbiológica del Agua	- 41 -
Tabla 11 Parámetros para la prueba de jarras y determinación del rendimiento de la planta .-	42 -
Tabla 12 Equipos Materiales y Reactivos.....	- 42 -
Tabla 13 Métodos de análisis.....	- 45 -
Tabla 14 Especificaciones del Policloruro de Aluminio PQPAC 001	- 49 -
Tabla 15 Caracterización Físico Química y Microbiológica	- 51 -
Tabla 16 Caracterización Físico Química y Microbiológica del agua tratada.....	- 52 -
Tabla 17 Datos para el Rendimiento actual de la planta.....	- 53 -
Tabla 18 Datos para la prueba de jarras.....	- 53 -

Tabla 19	Parámetros Físicos – Químicos fuera de norma	- 54 -
Tabla 20	Rendimiento actual de la planta.....	- 56 -
Tabla 21	Demanda de cloro para aguas	- 57 -
Tabla 22	Parámetros de diseño para la precloración	- 57 -
Tabla 23	Parámetros de diseño para un vertedero rectangular	- 60 -
Tabla 24	Parámetros de dosificación de coagulante.....	- 66 -
Tabla 25	Dosis de coagulante a añadir en cada jarra de 2 litros.....	- 67 -
Tabla 26	Datos y parámetros para la prueba de jarras	- 68 -
Tabla 27	Turbidez en función de la dosis de PQPAC 001	- 69 -
Tabla 28	Parámetros de Rediseño del sedimentador	- 74 -
Tabla 29	Resultados de la caracterización final del agua tratada	- 81 -
Tabla 30	Resultados del rendimiento de la planta	- 82 -
Tabla 31	Resultados de Precloración.....	- 82 -
Tabla 32	Resultados de Mezclador Rápido	- 83 -
Tabla 33	Resultados de la prueba de jarras.....	- 83 -
Tabla 34	Resultados de la dosis de coagulante a añadir en cada jarra de 2 Litros	- 84 -
Tabla 35	Resultados de la dosis óptima de coagulante para la planta de tratamiento de agua potable del cantón Cevallos	- 84 -
Tabla 36	Especificaciones de la bomba dosificadora	- 85 -
Tabla 37	Resultados del rediseño del sedimentador convencional.....	- 86 -

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN CEVALLOS.....	- 96 -
ANEXO 2	DOSIFICACIÓN DE COAGULANTES QUÍMICOS	- 97 -
ANEXO 3	REDISEÑO DEL SEDIMENTADOR ACTUAL	- 97 -
ANEXO 4	PRESUPUESTO ECONOMICO.....	- 98 -
ANEXO 5	INSTRUCTIVOS TECNICOS OPERATIVOS	- 98 -
ANEXO 6	PLANO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL CANTÓN CEVALLOS -	104 -

RESUMEN

La optimización de la planta de tratamiento de agua potable del cantón Cevallos, provincia de Tungurahua, pretende rediseñar y buscar nuevas alternativas de avance en el sistema de tratamiento actual.

En esta investigación se utilizó el método experimental y analítico, realizando análisis físico – químicos y microbiológicos en el laboratorio en muestras de agua captada y tratada, así como las pruebas necesarias para dosificar técnicamente coagulantes químicos con equipos específicos para pH, temperatura; gravimétricos para sólidos; espectrofométricos para cloro; incubación para coliformes, y materiales específicos como: tubos de ensayo, gradilla, pipeta, vasos de precipitación y caja petri. Para el muestreo del agua se usó botellas de vidrio y frascos estériles y guantes.

Los resultados obtenidos establecen que existen problemas de fosfatos haciendo referencia a la norma INEN 1108, y siendo necesaria la dosificación técnica de Policloruro de aluminio al 1%, junto con la precloración que exige una solución de hipoclorito de calcio al 70%, dosificada en una concentración de cloro de 0,3 ppm, un vertedero rectangular para la mezcla rápida de coagulantes con un tiempo de mezcla de 0,471 s, además de fijar seditubos en el sedimentador convencional transformándolo en un sedimentador de tasa alta con una velocidad de sedimentación de 0,02 cm/s.

Implementando este sistema a través de simulaciones del proceso y pruebas piloto se concluyó que el tratamiento propuesto permite optimizar el sistema actual obteniendo valores de fosfatos acordes a la norma correspondiente, aumentando además el rendimiento operacional.

Se recomienda la aplicación del estudio realizado para mejorar el sistema de tratamiento implementando el proceso de precloración, dosificación técnica y adecuada de coagulantes, mezcla rápida de los mismos así como un sedimentador de tasa alta con seditubos para mejorar el abastecimiento de agua a la población del cantón Cevallos.

SUMMARY

The optimization of the plant of treatment of drinking water from Canton Cevallos, province of Tungurahua, pretends to redesign and seek new alternatives of advance in the current treatment.

In this investigation was used the experimental and analytical method, by making physical-chemical and microbiologic analyses in the laboratory of intake and treated water in samples, as well as the necessary to dose chemical coagulants, technically with specific equipment for pH, temperatura, gravimeter for solids, spectrophotometric for chloride; incubation for coliforms and specific material such as: test tubes, sine wave grating, pipette, beakers, and petri dish-lid. For the sampling plan of water used glass bottles and sterile glass flasks and gloves.

The obtained outcomes established that exist phosphate problems making reference to the rule INEN 1 108, and being necessary the technical dosage of Aluminium Polychloride to 1% besides the pre chloride that demands a solution of hypochlorite of calcium to 70% , dosed into a concentration of chloride of 0,3 ppm, a rectangular landfill for the rapid mixture of coagulants with a time of merger of 0,471 s, furthermore to fix sedimentationpipes in the conventional sedimentation tank becoming it in a high rate with a velocity of 0,02 cm/s.

Implementing this system through simulations of process and pilot tests it is concluded that the proposed treatment allows optimizing the current system obtaining values of phosphates according to the corresponding norm, increasing also the operational performance.

It is recommended the application of the made study to improve the system of treatment by implementing the pre-chlorination, technique dosage and adequate coagulants, rapid mixture of the same as well as a sedimentation task of high rate with sedimentation pipes for getting better the drinking water supply to the inhabitants form Cevallos Canton.

INTRODUCCIÓN

El agua como recurso necesario para el ser humano, debe ser de óptima calidad, por lo que la planta de tratamiento de agua potable del cantón Cevallos, se encarga de potabilizar el agua para el cantón, tratando aguas provenientes del canal de riego Mocha – Huachi y del canal regional.

Tratando de brindar un producto de calidad, respecto a la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 108. Agua potable, existe cierta inquietud basándose en el parámetro de fosfatos 0,35 mg/L, que no está dentro de los límites permisibles; por lo que el siguiente proyecto de tesis está dirigido a mejorar la calidad del agua potable que se brinda a los usuarios del cantón Cevallos mediante el estudio y optimización del sistema de tratamiento.

De acuerdo al estado actual del estudio en la operación de la planta y mediante la caracterización del agua tratada se identificaron otros problemas existentes, centrándose en la etapa de coagulación, en la adición del producto químico afectando a la calidad del agua tratada.

Se estableció ciertas alternativas de mejora, para lograr las exigencias establecidas, tales como una precloración, mezcla rápida con un vertedero rectangular para facilitar la acción del coagulante químico además de su dosificación adecuada, mediante simulaciones realizadas en el laboratorio de control de calidad de la planta, así mismo se ve necesario rediseñar el sedimentador convencional actual por uno con módulos de seditubos para así mejorar el rendimiento de la planta sin afectar económicamente a la Municipalidad.

ANTECEDENTES

El Cantón Cevallos se encuentra ubicado al sur de la provincia de Tungurahua, es parte de la zona baja de la unidad hidrográfica del Río Pachanlica, que pertenece a la sub cuenca del Río Ambato. El cantón está ubicado a 14 Km. de la ciudad de Ambato, capital de la provincia de Tungurahua, y a 18 Km. del volcán del mismo nombre, hoy en proceso de erupción.

La entidad encargada del desarrollo de potabilización es el Municipio de Cevallos representado por el Sr. Bayardo Constante, alcalde del mismo, con el compromiso de velar por el desarrollo y bienestar de los pobladores del cantón, siendo una de las responsabilidades del gobierno local el proveer y garantizar el acceso a servicios básicos como agua potable y alcantarillado.

La planta se abastece principalmente con 10 L/s del canal de riego Mocha - Huachi, ubicado a 14 Km de longitud con instalaciones de conducción y distribución, el agua cruda llega a la planta de tratamiento ubicada en el sector El Mirador que provee actualmente a 7962 habitantes.

Luego que el agua fue filtrada, pasa al tanque donde es mezclada con 4 L/s de agua proveniente de la junta administradora de agua potable regional Yanahurco, en la etapa final de almacenamiento y distribución, además la planta cuenta con un Laboratorio de Control de Calidad.

JUSTIFICACIÓN

El crecimiento del planeta avanza y con ello la demanda de agua, con el fin de satisfacer las necesidades del ser humano, por lo que es necesario contar con agua pura y segura, aunque por otra parte las diversas fuentes hídricas disponibles generan agua con diferentes tipos de impurezas, siendo realmente imprescindible realizar un tratamiento de potabilización.

La tendencia del proceso de potabilización hacia la mejora en cuanto a calidad junto con las necesidades del cantón Cevallos de contar con un suministro de excelente calidad de agua potable justifica la importancia de esta investigación, ya que en la planta de tratamiento de agua potable del cantón Cevallos no se ha realizado investigaciones de este tipo, siendo este el primer estudio sobre el sistema de agua potable que busca optimizar la misma en búsqueda de mejores resultados en cuanto a calidad del agua tratada.

Considerando que cierto parámetro no cumple con los requerimientos señalados en la norma correspondiente y que parte del proceso se efectúa sin una dosificación técnica y adecuada, intentando entonces plantear alternativas que conlleven a optimizar el funcionamiento de la planta.

Tomando en cuenta estas consideraciones y junto con la gran responsabilidad de distribuir a la población agua segura para su consumo, el gobierno autónomo descentralizado del cantón Cevallos, apoya y facilita los estudios para la optimización de la planta de tratamiento de agua potable a través del diagnóstico del estado actual y poder establecer entonces posibles cambios e implementaciones en la planta, para establecer cuáles son los problemas más predominantes que provocan que el servicio brindado no proporcione confianza al usuario contribuyendo además al bienestar y progreso del cantón. Evitando con ello enfermedades y daños de diferente tipo en sus beneficiarios y el medio ambiente.

OBJETIVOS

GENERAL

- Optimizar la Planta de Tratamiento de Agua Potable del cantón Cevallos.

ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización antes y después del tratamiento actual.
- Identificar los parámetros que se hallan fuera de la norma INEN correspondiente.
- Plantear alternativas de mejora para el funcionamiento de la planta sustentado en el estudio técnico y económico.
- Validar el sistema de tratamiento propuesto.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 AGUA POTABLE

Agua tratada hasta condiciones adecuadas para el consumo humano y que se puede consumir sin peligro para la salud, con exigencias higiénicas rigurosas, enviada desde las plantas potabilizadoras a través de una red de distribución.

1.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas son turbiedad, color, sabor, olor y temperatura.

Los sabores y olores se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición. El color debido a minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos. La presencia de turbidez, indica que el agua puede contener agentes patógenos adheridos a las partículas en suspensión.

Turbiedad.

Forma indirecta de medir la concentración de las partículas coloidales y suspendidas en un líquido. Es importante considerarla porque:

- No tiene efectos sobre la salud pero afecta la calidad estética del agua pudiendo ocasionar rechazo por el consumidor.
- Determina el sistema de tratamiento más adecuado en cuanto a filtrabilidad.
- Las partículas presentes reducen la eficiencia del proceso de desinfección protegiendo a microorganismos de un contacto directo.
- La determinación de la turbiedad a la entrada y salida del proceso de tratamiento sirve para cuantificar la eficiencia remocional del mismo facilitando el control del proceso.

Color: incide sobre el aspecto estético del agua, quitándole transparencia. Se debe a taninos, lignina, ácido húmico, polisacáridos y ácidos grasos, entre otros; extracción acuosa

de sustancias de origen vegetal vivo, materia orgánica del suelo, hierro, manganeso y otros compuestos metálicos.

Olor y sabor: se deben al plancton, compuestos orgánicos generados por bacterias y algas, vegetación en putrefacción y a desechos domésticos e industriales.

Temperatura: Retarda o acelera la actividad biológica, absorción de oxígeno y dióxido de carbono de la atmósfera por el agua, influye en la proliferación de algas, precipitación de compuestos, procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección por cloro.

1.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Pueden ser de origen natural o industrial y serán beneficiosos o nocivos de acuerdo a su composición y concentración.

Potencial hidrógeno, pH.: expresa la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua, mediante la concentración del Ion hidrógeno, juega un papel importante en la coagulación, desinfección por cloro, ablandamiento y el control de corrosión.

Alcalinidad: presencia en el agua de iones, que pueden reaccionar con ácidos, neutralizándolos. Se debe a bases fuertes que llegan a las aguas naturales por contaminación por desechos industriales.

Originan precipitación de sales de calcio en tuberías, aunque la alcalinidad natural presente en el agua cruda es suficiente para realizar una buena floculación; sin embargo si esta es baja, debe recurrirse a la adición de un alcalinizante primario para incrementarla.

Dureza: forma depósitos en las tuberías, obstruyéndolas. Se puede considerar como blanda un agua con menos de 100 mg/L de dureza como CaCO_3 , medianamente dura de 100 a 200 mg/l, dura de 200 a 300 mg/L.

Detergentes: agentes espumantes debido al residuo de detergentes domésticos, causan masas de espuma en el agua cruda, y tienden a dispersar sustancias no solubles, interfiriendo con los procesos de coagulación y sedimentación.

Aceites y grasas.: genera problemas de olor y sabor, deteriora la calidad estética y puede ser un riesgo potencial para la salud.

Hierro y Manganeso.: afectan el sabor, produce manchas durables en aparatos sanitarios, interfiere en el lavado de ropa y causa obstrucciones y alteraciones en la turbiedad y el color.

Sulfatos: tienen efectos sobre el sabor, mal olor y disminuye el pH, aumentando su poder corrosivo, son laxantes simultáneamente con el manganeso y el sodio. Si además hay presencia de calcio o magnesio, los sulfatos reaccionan con éstos formando incrustaciones duras en tuberías y artefactos.

Zinc: su presencia comunica un sabor astringente, opalescencia y depósitos similares a la arena.

Cobre: produce sabor astringente y color, favorece la corrosión, puede originar problemas de sabor.

Nitratos: un contenido de nitrato mayor de 10 mg/L, puede ocasionar enfermedades, los nitritos, tiene una toxicidad mayor que afecta al hombre.

Fluoruros: si el contenido de flúor excede el límite, el esmalte dental puede adquirir unas manchas color marrón permanente, y si es inferior no ejerce protección contra la caries.

Pesticidas: compuestos inorgánicos, orgánicos naturales y sintéticos, que se utilizan en actividades agrícolas, tales como insecticidas, fungicidas, algicidas, matamalezas y herbicidas. Los efectos tóxicos difieren dependiendo de su naturaleza química, se acumulan en los tejidos y otros son metabolizados.

Sustancias tóxicas.

Son contaminantes inorgánicos, cuya presencia por encima de valores admisibles tiene efecto negativo en la salud. Los principales son:

Tabla 1 Sustancias tóxicas que puede presentar el agua

ELEMENTO	CARACTERÍSTICAS
Arsénico	Metaloide que puede ser aguda o crónicamente tóxico para el hombre.
Bario	Altamente tóxico y causa serios trastornos cardiacos, vasculares y nerviosos.
Cadmio	Potencialmente tóxico y su digestión tiene efectos acumulativos en el tejido del hígado y los riñones.
Cianuro	No común, sin embargo es tóxico
Mercurio	Aguda y crónicamente tóxico.
Plata	Uno de los más escasos en aguas, produce un descoloramiento permanente e irreversible de la piel, los ojos y las membranas mucosas.
Cromo	Muy escaso en aguas naturales, siendo indicador de contaminación industrial.
Plomo	Aguda o crónicamente tóxico.

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

1.1.3 CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS

Las aguas poseen gran variedad de elementos biológicos desde los microorganismos hasta los peces.

La calidad y cantidad de microorganismos va acompañando de las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica. Del reino vegetal, los microorganismos más importantes son las algas y bacterias aunque la presencia de hongos, mohos y levaduras es un índice de la existencia de materia orgánica en descomposición.

Del reino animal, los protozoarios, moluscos, artrópodos platelmintos, helmintos. Así como el plancton que tiene importancia para juzgar la calidad sanitaria del agua.

Las algas constituyen una de las principales causas de sabor y olor desagradables en las aguas, los microorganismos ejercen dos tipos de influencia con respecto a la producción de

turbiedad y color. Primero, debido a su presencia como partículas en suspensión o como productores de pigmentos solubles, y segundo, indirectamente por la interferencia que causan en los procesos, ya sea por alteración del pH, aumento de lodos sedimentados u obstrucción de los filtros.

Así el agua potable, debe ser tratada para eliminar los elementos biológicos que contiene.

Coliformes

Organismos patógenos indicadores de contaminación productores de enfermedades.

El grupo de coliformes totales, incluye los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*. El género *Escherichia*, especie *E. coli*, población de bacterias Coliformes más representativas de contaminación fecal, aunque el género *Aerobacter* y algunas *Escherichia* pueden crecer en el suelo.

Los métodos bacteriológicos utilizados para detectar la presencia en el agua son el recuento en placa para determinar el número de colonias, filtro membrana entre otros.

1.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos y operaciones unitarias que permiten obtener agua potable a partir de agua cruda.

Caracterización del agua cruda: Provee la información suficiente respecto a las principales características físicas, químicas y microbiológicas del agua, para seleccionar las alternativas de tratamiento.

1.2.1 TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE

1.2.1.1 CAPTACIÓN

El agua para potabilizar puede obtenerse de fuentes superficiales (ríos, lagos, diques) o fuentes subterráneas (aguas de perforación). Se capta el agua, en ella se encuentra un sistema de rejas y compuertas que retienen los materiales de gran tamaño (palos, maderas,

plásticos, etc.) para evitar que entren al acueducto o canal abierto que conduce el agua hacia el establecimiento potabilizador.

1.2.1.2 CONDUCCIÓN

Sistema de estructuras y accesorios destinados a transportar el agua procedente de la fuente de abastecimiento, hacia los tanques de almacenamiento, planta de tratamiento y distribución.

- A GRAVEDAD: permite el transporte del agua utilizando la energía hidráulica.
- POR BOMBEO: con flujo a presión en la cual la energía necesaria para la circulación del agua es provista por una bomba.

1.2.1.3 PRESEDIMENTACIÓN

El agua circula lentamente para que la arena y otros sólidos pesados en suspensión, caigan al fondo. El agua con menos material suspendido, pero todavía turbia pasa a otra etapa.

1.2.1.4 COAGULACIÓN

Proceso de tratamiento con una serie de operaciones químicas, que tiene por objeto clarificar el agua, es decir eliminar la turbiedad, por medio del agregado de un producto químico para reducir o anular las fuerzas que tienden a mantener separadas las partículas en suspensión o coloides, por lo que las mismas se aglutinan en pequeños flocs, de mayor peso de tal manera que sedimenten más fácilmente. Mediante la coagulación se pretende:

- Remoción de la turbiedad.
- Remoción del color.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos.
- Eliminación de sustancias que producen sabor y olor.

Constituye un proceso básico que determina en gran parte las condiciones de operación de la planta de tratamiento, tanto que de esta etapa dependerá la eficiencia del proceso

siguiente. Para lo cual se usan principalmente un sistema de simulación del proceso de coagulación llamado prueba de jarras.

1.2.1.4.1 COAGULANTES

Son agentes químicos agregados al agua para facilitar el asentamiento de sustancias coloidales que se encuentran en suspensión. Las partículas que se unen aumentan de peso y decantan. Las partículas coloidales producen turbidez y color del agua, estas tienen gran poder de adsorción, adsorbiendo iones del medio y cargándose negativamente. La adición del coagulante neutraliza las cargas produciendo un colapso de la nube de iones que rodean los coloides de modo que puedan aglomerarse.

Tipos de coagulantes

Un buen rendimiento operacional depende de la selección de un determinado tipo de compuesto químico, entre los diferentes tipos de coagulantes usados en el tratamiento son:

a. **Sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$):**

Se obtiene de la reacción mineral de bauxita o arcillas ricas en óxidos de aluminio Al_2O_3 con ácido sulfúrico. Se conoce como alúmina o alumbre. Reacciona con la alcalinidad del agua y con los fosfatos. Fue el coagulante más utilizado aunque actualmente se ha eliminado debido a los problemas de operabilidad y taponamientos de tuberías por la sedimentación de aluminio en el interior.

b. **Sulfato ferroso (FeSO_4):**

Se usa generalmente junto con la cal (CaO) o junto con el cloro para llevar a cabo una coagulación efectiva. La reacción del FeSO_4 con la cal hidratada se ve favorecida a pH altos.

c. **Sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$):**

Disponible comercialmente en forma granular, muy soluble en agua. Puede reaccionar con la alcalinidad del agua o con materiales alcalinos añadidos como la cal.

d. Cloruro férrico (FeCl_3):

Está disponible en fase sólida y líquida. Se genera por la oxidación del sulfato ferroso con cloro. Tiene la ventaja de que la coagulación puede ser llevada bajo diferentes pH (entre 4, 8 y 11). Reacciona con la alcalinidad del agua y con los compuestos alcalinos añadidos.

e. Policloruro de aluminio PAC:

Siendo el más utilizados el Policloruro de aluminio PAC; cuando se adiciona se producen una serie de reacciones muy complejas donde los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos, reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio que son insolubles formando los precipitados.

Es el resultado de un proceso complejo y controlado de fabricación, comúnmente denominado Policloruro de aluminio, polihidroxiclورو de aluminio, cloruro de polialuminio, cloruro de aluminio polibásico, cloruro básico de aluminio, clorhidróxido de aluminio, oxiclورو de aluminio, entre otros.

Presenta ciertas ventajas frente a los coagulantes comunes:

- Mayor potencia de coagulación.
- Mayor velocidad de coagulación y floculación.
- Menor gasto de coagulantes especialmente de turbiedad alta.
- No importa el aluminio disuelto en agua.
- Se obtiene la menor turbiedad final del proceso.
- Menor consumo de álcalis.
- Es efectivo en un amplio rango de pH.
- Igual rendimiento a distintas temperaturas.
- Remoción de color

Algunos fabricantes ofrecen diferentes tipos de PAC según sea su contenido de óxidos útiles o su basicidad. Son distribuidos al granel mediante carrotanques o en contenedores

plásticos, éstos se deben almacenar en bodegas amplias y ventiladas con temperatura ambiente entre 0 y 40 °C, y no exponerlos al sol.

Tabla 2 Presentaciones del Policloruro de Aluminio PAC

Referencia	Apariencia	% Al ₂ O ₃	% Al	% Cl	Densidad
PQPAC 001	Amarillo transparente	17 % mín.	9 % mín.	12 % mín.	1.31 – 1.32
PQPAC 002	Amarillo transparente	10 % mín.	5.5 % mín.	8 % mín.	1.20 – 1.28
PQPAC RS	Ámbar	10 % mín.	5.5 % mín.	-----	1.20 – 1.26
PQPAC HRS	Ámbar	17 % mín.	9 % mín.	-----	1.335 – 1.350

FUENTE: Productos Químicos Panamericanos S.A. Certificado de Calidad

1.2.1.4.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COAGULACIÓN

Las siguientes variables se deben analizar para optimizar la coagulación, ya que su interrelación permite predecir la cantidad adecuada de coagulante a adicionar al agua:

Tamaño de las partículas: las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas en el floc.

Temperatura: cambia el tiempo de formación del floc, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor. Mientras que a temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación.

pH: para cada coagulante hay por lo menos una zona de pH óptima, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante.

El pH óptimo varía según la naturaleza del agua, cuanto menos sea la dosis de coagulante, tanto mayor será la sensibilidad del floculo a cambios de pH

Relación cantidad-tiempo: la cantidad de coagulante es inversamente proporcional al tiempo de formación del floc.

Alcalinidad: guarda la relación con el pH y por lo tanto su contenido es uno de los factores por considerar en la coagulación.

Influencia de las Sales Disueltas: modifican el rango de pH óptimo, el tiempo requerido para la floculación, la cantidad de coagulantes requerido así como la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

Influencia de la Dosis del Coagulante: tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación:

- A poca cantidad del coagulante, la formación de los microflóculos es muy escaso, con valores de turbiedad elevada.
- Alta cantidad de coagulante se forma gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños de velocidades de sedimentación muy bajas, con turbiedad igualmente elevada.
- La selección del coagulante influye sobre la buena o mala calidad del agua clarificada y el buen o mal funcionamiento de los decantadores principalmente.

Influencia de Mezcla: el grado de agitación durante la adición del coagulante, determina si la coagulación es completa; a turbulencias desiguales se tendrán porciones de agua con mayor, menor o casi nada de coagulante. En el transcurso de la coagulación y floculación, se procede a la mezcla de productos químicos en dos etapas.

Mezcla rápida: primera etapa enérgica y de corta duración 60 s., máx. Donde se inyecta y dispersa el coagulante dentro del volumen del agua a tratar en una zona de fuerte turbulencia.

Mezcla lenta: segunda etapa que desarrolla microflóculos, el tiempo de mezcla no excede de 15 min. Un tiempo excesivo puede originar una floculación más eficiente, pero a su vez una pobre sedimentación.

Turbiedad

- Para cada turbiedad existe una cantidad de coagulante con la que se obtiene la turbiedad residual más baja, que corresponde a la dosis óptima.
- La cantidad de coagulante es indistinto de una elevada o baja turbiedad ya que cuando la turbiedad aumenta no es necesario gran cantidad de coagulante debido a que la probabilidad de colisión entre las partículas es muy elevada; por lo que la coagulación se realiza con facilidad; por el contrario cuando la turbiedad es baja la coagulación se realiza muy difícilmente, y la cantidad del coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuese alta.
- Cuando la turbiedad es muy alta es conveniente realizar una presedimentación.

Sistema de Aplicación del Coagulante

- La dosis del coagulante se adiciona al agua en forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida.
- El sistema de dosificación debe proporcionar un caudal constante y fácilmente regulable.

1.2.1.5 FLOCULACIÓN

Proceso que consiste en la agitación de la masa coagulada para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso para sedimentar con facilidad. Desestabilización en el que el agua cambia de velocidad y se agita con paletas o canales en forma de serpentín que permite que los flóculos pequeños se mezclen y formen flóculos más grandes y pesados.

Floc.-pequeñas masas gelatinosas formadas en un líquido por la reacción de un coagulante agregada a él, a través de procesos bioquímicos o por aglomeración.

1.2.1.5.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FLOCULACIÓN¹

Concentración y naturaleza de las partículas: la velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y su tamaño inicial.

Tiempo de detención: la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención, el cual es lo más cercano al determinado por medio de la prueba de jarras.

Gradiente de velocidad: factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas.

1.2.1.6 SEDIMENTACIÓN

Proceso de asentamiento de la materia suspendida, aprovechando la acción que ejerce la gravedad sobre las partículas más pesadas que el agua, que descienden depositándose sobre el fondo. Permiten que los flóculos, ya grandes, caigan al fondo por su propio peso. En el tramo final de los sedimentadores hay vertederos que toman las capas superiores de agua más clara y la envían a la siguiente etapa.

El sedimentador es un tanque construido en concreto o ladrillo, de forma alargada o rectangular, en el cual se puede sedimentar la arena, grava y otras partículas finas que pueda tener el agua, tiene cuatro zonas que son:

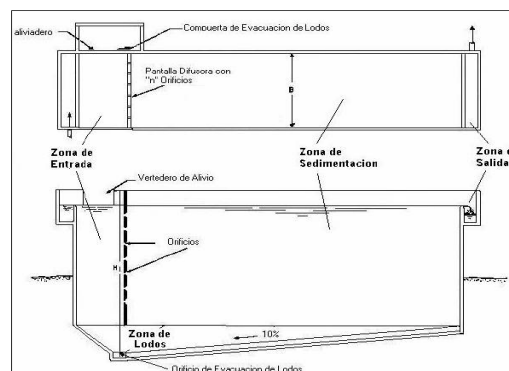


Figura 1 Zonas de un Sedimentador Convencional

¹ RODRÍGUEZ, Carlos. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 1995. P 115.

Zona de entrada: estructura de transición, que permite una distribución uniforme del flujo.

Zona de sedimentación: canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas.

Zona de salida: puede ser un vertedero, canaletas o tubos que recolectan el efluente sin trastornar la sedimentación de las partículas depositadas.

Zona de recolección de lodos: constituida con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y su evacuación periódica.

Las actividades de operación comprenden las siguientes actividades:

- Regulación del caudal de entrada.
- Purga de lodos.
- Retiro de material flotante.

En cuanto al diseño de los sedimentadores el tamaño, peso, forma de la partícula, resistencia a la fricción y viscosidad son consideraciones relevantes, entre otros factores:

- Tamaño y peso de las partículas.
- Resistencia a la fricción del agua.
- Profundidad del sedimentador.
- Sistema de entrada y de salida del agua.
- Métodos de operación.
- Tiempo de retención.

1.2.1.7 FILTRACIÓN

Aquí el agua es separada de la materia en suspensión haciéndola pasar a través de una sustancia porosa o medio filtrante. Todo lo que no precipitó en el sedimentador es retenido en el filtro. Existen dos clases de filtros de arena: los de acción lenta y los de acción rápida.

En los filtros lentos el agua pasa por gravedad a través de la arena a baja velocidad, la separación de los materiales sólidos se efectúa al pasar el agua por los poros de la capa filtrante y adherirse las partículas a los granos de arena.

En los filtros rápidos con área libre, el agua desciende por gravedad a través de la arena a una velocidad mayor.

1.2.1.8 DESINFECCIÓN

Donde se destruyen los agentes microbianos, por medio de productos químicos como: Hipoclorito de Sodio, Hipoclorito de calcio, Dióxido de cloro, ozono etc. Este es el último paso en la potabilización del agua, donde después se acumula y es distribuida por red a los domicilios.

1.2.2 CONTROL FINAL

Antes de llegar al consumo, el agua es severamente controlada analizando muestras tomadas en distintos lugares del sistema. Se controlan diariamente por mediciones de cloro residual en extremo de red, de turbiedad en las plantas de potabilización y exámenes bacteriológicos y fisicoquímicos periódicos con una cantidad de análisis mensuales acorde a los habitantes de cada localidad.

1.2.2.1 CALIDAD DEL AGUA POTABLE

Sistema de inspección, análisis y acción destinado a la evaluación de la calidad del agua potable que llega al usuario. Comprende el empleo de técnicas y actividades de carácter operativo (monitoreo, muestreo, análisis de campo y laboratorio) utilizados para establecer el cumplimiento de los requisitos de calidad y eliminar las causas de funcionamiento no satisfactorio (procesos, operaciones, prácticas operacionales, de mantenimiento, materiales, productos químicos e influencias externas), en todos los elementos del sistema de abastecimiento, desde la fuente hasta el consumidor.

Observación cuidadosa y permanente de la seguridad y aceptabilidad de la calidad del agua potable, desde el punto de vista de la salud pública, asegura que el agua cumpla con las normas técnicas y sea apta para el consumo humano.

1.2.2.2 CONTROL Y MONITOREO

- Inspección sanitaria detallada de la fuente y del sistema de abastecimiento, para descubrir en qué momento el agua se contamina.
- Toma de muestras del agua en distintos puntos del sistema y llevarlas al laboratorio para examinarlas, con los resultados se sabrá si el agua es apta o no para su consumo.

Es necesario realizar el control y monitoreo de la calidad del agua en todo el sistema de abastecimiento, desde la fuente, captación, conducción, tratamiento, desinfección, distribución y conexiones domiciliarias, porque el agua puede contaminarse antes de llegar al consumidor.

1.2.3 REQUISITOS DEL AGUA POTABLE ²

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1108:2011

CUARTA REVISIÓN

Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano y se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

1.3 OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

La optimización de una planta de tratamiento de agua potable tiene como finalidad mejorar el sistema actual, las diferentes variables existentes para mejorar la calidad y producir agua que cumpla con la norma correspondiente.

Requiere un conocimiento profundo de los diversos procesos desde la entrada hasta la salida del sistema, un monitoreo detenido de los procesos y así detectar las condiciones instantáneas. Para de esta manera estar proporcionado de los datos necesarios para modelar y optimizar las fases individuales del proceso.

² NORMA TECNICA ECUATORIANA INEN 1108:2011

Es necesario lograr una integración de los procesos de tratamiento de agua con la rentabilidad económica y lograr satisfacer los requerimientos de calidad del agua potable.

Las especificaciones de implementación deben garantizar una construcción económica pero durable, tomando en cuenta que los sistemas de tratamiento son usados por muchos años.

Entre las operaciones a implementarse para la optimización del Sistema existente se tiene:

1.3.1 PRECLORACIÓN³

Proceso de acondicionamiento del agua efectuado antes de la decantación, para que posteriores etapas del proceso sean más eficaces y eficientes, consiste en añadir el agente generador de formas activas de cloro a la entrada de la planta de tratamiento.

Favorece la coagulación y elimina sustancias inorgánicas reductoras, microorganismos presentes en las diferentes unidades, así como en las líneas de conducción de un proceso a otro.

Se consigue así la destrucción total de los gérmenes patógenos, y la eliminación máxima de las bacterias, gérmenes comunes, plancton y las cloraminas, obteniéndose también el menor sabor posible. Inhibe además el crecimiento de bacterias del hierro e indica la oxidación del hierro y del manganeso.

1.3.2 DOSIFICACIÓN DEL COAGULANTE

La dosificación es uno de los procesos más importantes para que el proceso de potabilización sea óptimo. Sirve para conocer la dosis óptima de coagulante que se debe adicionar al agua cruda, determinando así la eficiencia del proceso.

La dosis del coagulante que se adicione debe ser en forma constante y uniforme en la unidad de mezcla rápida, para que el coagulante sea completamente dispersado y mezclado con el agua, así mismo el sistema de dosificación debe proporcionar un caudal constante y fácilmente regulable.

³ EMAPA, manual de técnicas de purificación , año 2009

1.3.2.1 PARÁMETROS DE DOSIFICACIÓN

1.3.2.1.1 pH óptimo

La concentración de iones de hidrógeno de la mezcla de agua y de iones de aluminio es de fundamental importancia en la formación del flóculo. Los rangos de pH con los cuales se optimiza la coagulación para remover color son 4,0 a 6,0 mientras para turbiedad es 6,5 a 7,0.

1.3.2.1.2 Concentración óptima

Es la concentración de la solución del coagulante que optimiza el proceso de coagulación. Generalmente varía entre 1% y 2%.

1.3.2.1.3 Dosis óptima de coagulante (mg/L)

Es la que produce la mejor desestabilización de las partículas coloidales, permite la formación de un flóculo pesado y compacto que pueda ser fácilmente retenido en los sedimentadores.

Se realiza la prueba de jarras para el coagulante, en donde la dosis óptima corresponde a aquella que produzca la menor turbiedad final.

Prueba de jarras

Muestra el comportamiento de los coagulantes a pequeña escala, mediante la simulación del proceso a nivel de laboratorio, determinando variables físicas y químicas de la coagulación, floculación y sedimentación, tales como: selección del coagulante, pH óptimo, gradientes y tiempos de mezcla rápida y floculación, velocidad de sedimentación y eficiencia de remoción pudiendo controlar de mejor manera todo el proceso.

Consiste en agregar cantidades conocidas de coagulante a varias jarras que contienen el agua a tratar, se agita rápidamente durante 1 min y luego lentamente por 15 minutos observando posteriormente la calidad característica del proceso de sedimentación de los flóculos, una vez que se ha cumplido la sedimentación se analizan los parámetros de turbidez y la dosis óptima de coagulante.

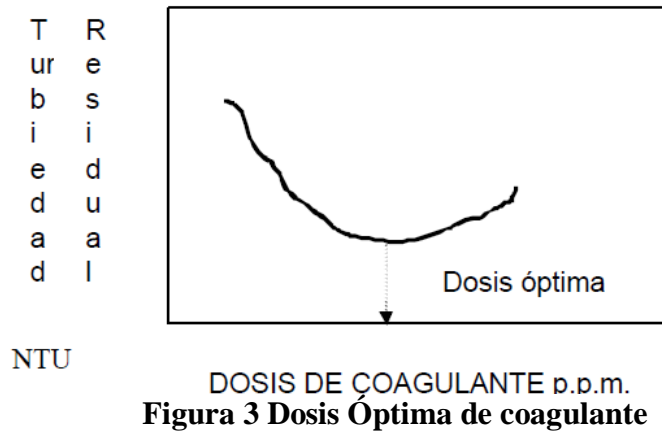
Se selecciona como dosis óptima efectiva y económica para las condiciones operacionales de tiempo e intensidad de agitación, intentando reflejar las operaciones normales de la planta, aquella que produce la menor turbidez.



Figura 2 Equipo para Prueba de Jarras

Obtención de Resultados

En la determinación de la dosis óptima, los resultados de turbiedad obtenidos en las diferentes jarras para dosis variables de coagulantes se grafican usando la turbiedad en el eje “Y” y la dosis en el eje “X”. Determinando de esta manera la dosis óptima en el punto de inflexión, siendo el punto más bajo de la curva, con la menor turbiedad:



1.3.2.2 DOSIFICACIÓN EN SOLUCIÓN POR BOMBEO

Se emplean bombas aspirantes impelentes de diafragma o de pistón, accionadas por un conjunto motor reductor donde el desplazamiento del diafragma o pistón puede ser

regulado con una frecuencia de movimientos de desplazamiento alternados, lo que permite ajustar el volumen y, en consecuencia, la dosificación.

Con la determinación de la dosis adecuada de coagulante se establece la apertura en la que se debe colocar el selector de la bomba. Manipulando el selector de apertura de dosificación de la bomba al porcentaje deseado, se gira lentamente en el sentido correcto para comenzar la dosificación.

Prueba de aforo para la medida de Caudal Inyectado

Para la aplicación del coagulante sea por gravedad o por medio del sistema de bombeo, se requieren de un cronometro y un recipiente graduado, los cuales permiten realizar mejor el control de la dosificación.

Consiste en registrar el tiempo usado para recoger el coagulante en un recipiente de un volumen conocido. Dicha medida debe ser en la descarga inmediata de la bomba o en el punto de inyección del coagulante.

1.3.3 MEZCLA RÁPIDA CON VERTEDEROS RECTANGULARES⁴

La eficiencia del coagulante y por consiguiente la coagulación depende de la dosificación y la rápida mezcla. La mezcla rápida se puede realizar con unidades hidráulicas o mecánicas.

Tipos de mezcla

Tabla 3 Tipos de mezcla

Mezcladores Mecánicos	Mezcladores Hidráulicos
Retromezcladores (agitadores)	Resalto Hidráulico: Canaleta Parshall y Vertedero Rectangular En línea: Difusores (tuberías y canales) Inyectores, etc.

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

⁴ MEZCLADORES

http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual2/ma2_cap2.pdf

Un vertedero rectangular consiste en un canal rectangular con un vertedero rectangular sin contracciones a todo lo ancho del canal. La lámina vertiente, después de pasar sobre el vertedero, toca el fondo del canal en la sección 1, a una distancia L_m del vertedero.

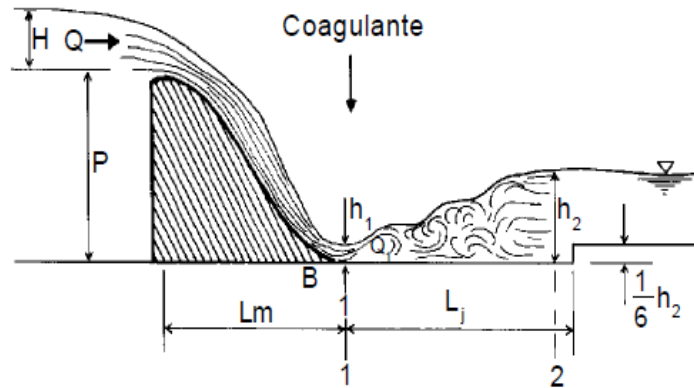


Figura 4 Vertedero Rectangular

Cuando la lámina de agua alcanza el fondo, se divide en una corriente principal que se mueve hacia el frente y en una corriente secundaria que retorna.

Para asegurar una dispersión homogénea y continua en toda el agua, el coagulante debe aplicarse sobre la sección 1 a una distancia L_m del vertedero. Siendo una distancia menor inadecuada, ya que parte del agua cruda puede tener mayor o menor dosis de coagulante.

La distancia L_m , según la ecuación de Scimemi:

Ecuación 1-1

$$L_m = 1,45 P^{0,54} H^{0,46}$$

Dónde:

P : altura del vertedero

H : carga disponible, altura de la lámina de agua.

L_m : distancia del vertedero a la sección 1

Así mismo la altura crítica de flujo, h_c se obtiene:

Ecuación 1-2

$$h_c = \frac{q^2}{g}^{\frac{1}{3}}$$

Dónde:

q: caudal específico

g: gravedad

hc: altura crítica

El caudal específico se determina mediante:

Ecuación 1-3

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

Dónde:

Q: caudal de entrada

B: ancho del vertedero

q: caudal específico

Con resalto, la profundidad del agua en la sección 1, se relaciona con hc según la ecuación de White:

Ecuación 1-4

$$\frac{h_1}{h_c} = \frac{\bar{2}}{1,06 + \frac{P}{h_c} + 1,5}$$

Dónde:

h_1 : altura del agua en la sección 1

h_c : altura crítica

P : altura del vertedero

Mientras que las profundidades antes y después del resalto se relacionan por:

Ecuación 1-5

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1}{2}$$

Ecuación 1-6

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$

$F_1 = 4,5 - 9$ resalto estable con mezcla eficiente

Dónde:

F_1 : número de Froude en la sección 1

h_1 : altura del agua en la sección 1

h_2 : altura del agua en la sección 2

v_1 : Velocidad en la sección 1

g : gravedad

Ecuación 1-7

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

Ecuación 1-8

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

Dónde:

v_1 : Velocidad en la sección 1

v_2 : Velocidad en la sección 2

h_1 : altura del agua en la sección 1

h_2 : altura del agua en la sección 2

q : caudal específico

Además de que el valor de la pérdida de carga, según la ecuación de Belanger y la longitud de resalto, L_j , según la ecuación de Smetana, se tiene:

Ecuación 1-9

$$h = \frac{h_2 - h_1^3}{4 h_1 h_2}$$

Ecuación 1-10

$$L_j = 6 h_2 - h_1$$

Dónde:

h : pérdida de carga en el resalto

h_1 : altura del agua en la sección 1

h_2 : altura del agua en la sección 2

L_j : Longitud del resalto

El tiempo de mezcla será:

Ecuación 1-11

$$t_m = \frac{L_j}{v_m}$$

Ecuación 1-12

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Dónde:

v_m : Velocidad media en el resalto

L_j : Longitud del resalto

v_1 : Velocidad en la sección 1

v_2 : Velocidad en la sección 2

t_m : Tiempo de mezcla

Y el gradiente de velocidad, según la ecuación convencional:

Ecuación 1-13

$$G = \frac{\gamma h}{\mu t_{RE}}$$

Dónde:

γ : Peso específico del agua

h : pérdida de energía en el resalto

μ : Viscosidad dinámica del agua

t_{RE} : Tiempo de retención

G: gradiente de velocidad

1.3.4 REDISEÑO DE SEDIMENTADORES CONVENCIONALES

Normalmente las plantas de tratamiento de agua utilizan sedimentadores convencionales:



Figura 5 Sedimentador Convencional

En los casos donde la calidad del agua tratada lo requiera se utilizarán sedimentadores de placas, que por su mayor complejidad constructiva, operación y mantenimiento son más recomendables.

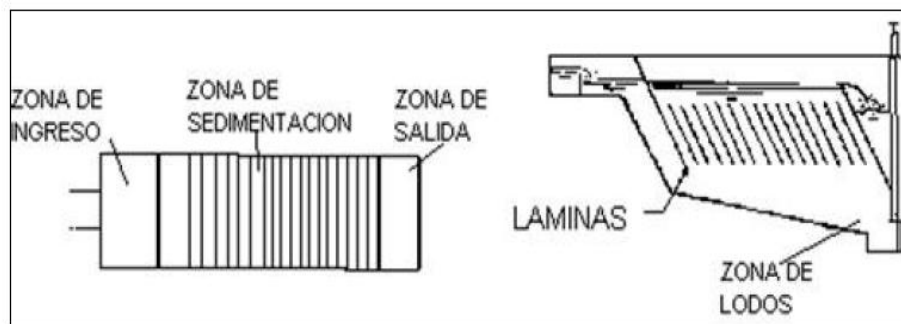


Figura 6 Sedimentador con placas

En caso de ser necesario, existe la posibilidad del acondicionamiento de placas o láminas a sedimentadores convencionales mejorando su eficiencia, transformándolos en sedimentadores de placas, contando así con una mayor área de sedimentación.

1.3.4.1 SEDIMENTADORES DE TASA ALTA

Consisten en una serie de tubos circulares, cuadrados, hexagonales, octogonales, o placas planas paralelas, onduladas u otras formas, colocadas en un tanque con un ángulo θ de inclinación, donde el agua asciende por las celdas con flujo laminar.

1.3.4.2 SEDIMENTADOR DE TASA ALTA CON PLACAS PARALELAS

Es uno de los tipos de sedimentadores más económicos, eficientes y compactos para realizar la sedimentación de partículas en líquidos, la inclinación de las placas hace que el sedimentador tengan una mayor área de sedimentación en un espacio de hasta 90 por ciento menos que los sedimentadores convencionales, además, las partículas que se sedimentan sobre las placas inclinadas se acumulan y caen por sí mismas al fondo del Sedimentador, lo que lo hace autolimpiable.

1.3.4.3 SEDIMENTADOR DE ALTA TASA CON SEDITUBOS.

Una de las variaciones de los sedimentadores de placas son los sedimentadores de tubo, los cuales presentan mejoras constructivas, además de la simplicidad de su construcción, ya que se pueden generar módulos que son agrupados hasta conseguir la cantidad necesaria.

Módulos de sedimentación

Los módulos de sedimentación acelerada conocidos también como seditubos, es una tecnología que ha estandarizado su uso ya que el rendimiento de estos productos versus las tradicionales placas demuestran ventajas excepcionales. Consisten en una serie de tubos de ABS y poliestireno, químicamente soldados a un ángulo de 60 grados en diferentes posiciones.

Tabla 4 Características del ABS y Poliestireno

CARACTERÍSTICAS DEL ABS Y POLIESTIRENO
Atóxico
Resistente a ácido
Resistente a álcalis
Área completamente liza
No giroscópico
Con aditivos es resistente al UV
Peso específico 1.14
Estabilidad dimensional

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

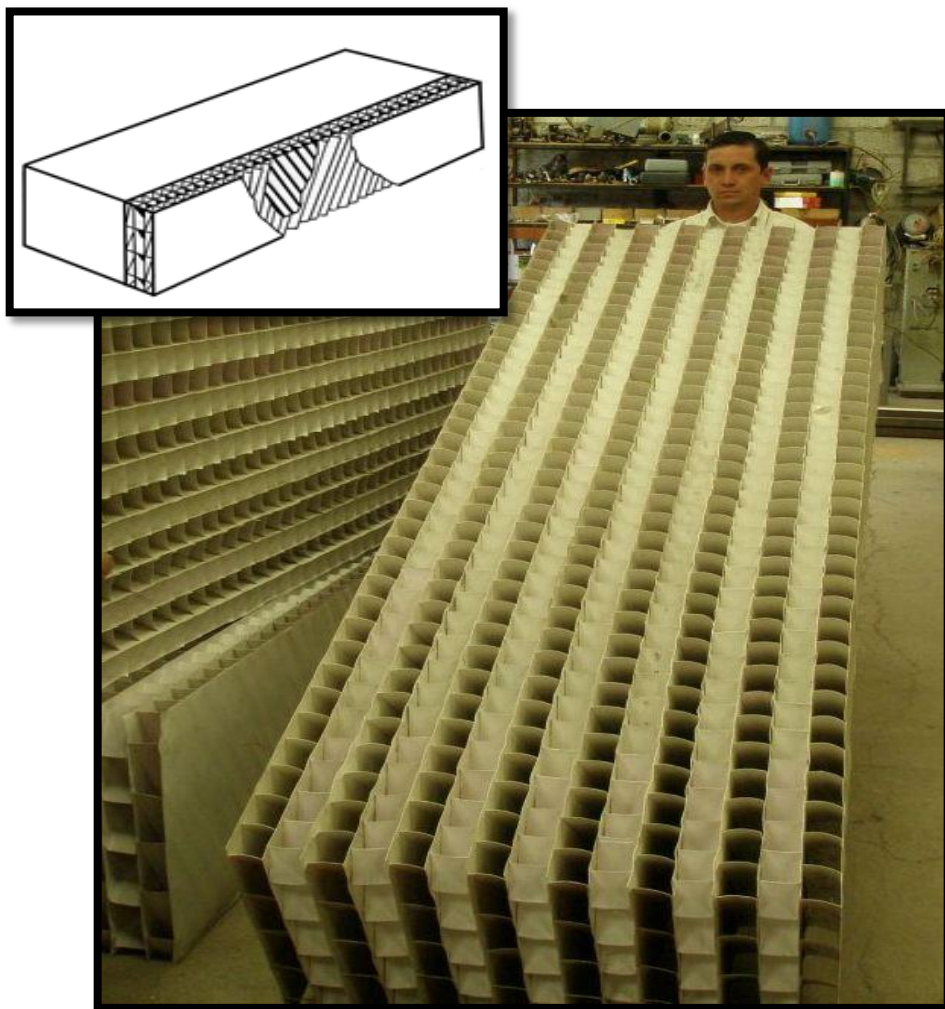


Figura 7 Módulos de Sedimentación

Funcionamiento

Luego de los floculadores, el líquido ingresa a la zona de sedimentación (masa líquida que se encuentra bajo los seditubos), atravesando los módulos. Los módulos distribuyen muy uniformemente el líquido en toda el área, equalizando la velocidad ascensional del agua y manteniendo un flujo laminar debido al área superficial relativamente grande, debido a una serie de áreas de sedimentación muy próximas.

Estas áreas se disponen a un ángulo de inclinación para su autopurgado, donde al sedimentar las partículas en la pared inferior del tubo, estas sigan cayendo, aglomerándose las partículas, con ello los sólidos depositados tienen la tendencia a resbalar por la pared del tubo, formando una corriente de mayor densidad que sale por la parte inferior del tubo hacia un área donde los sólidos son colectados y retirados. Desprendiéndose directamente los sólidos hacia el fondo del sedimentador, cayendo sin mezclarse con la masa de agua que atraviesan.

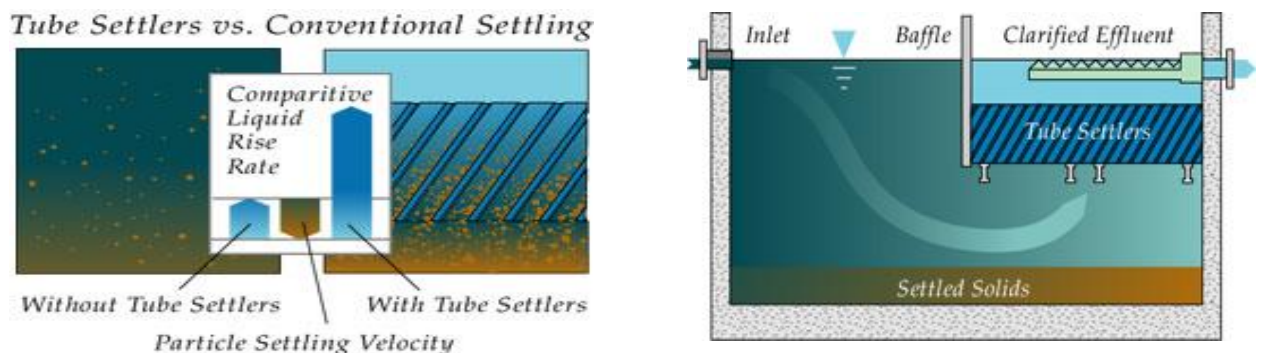


Figura 8 Funcionamiento de los seditubos

Los módulos se los acondiciona al sedimentador y serán distribuidos uniforme y firmemente en el mismo. Se instalan fácilmente sobre estructuras metálicas livianas colocadas en el sedimentador.

Ventajas

- El sedimentador necesario será más pequeño debido a la capacidad creciente del flujo.

- Al incluir módulos de sedimentación en sedimentadores convencionales se puede aumentar la capacidad de tratamiento de agua en la zona de sedimentación.
- La calidad del efluente mejora perceptiblemente con el uso de los seditubos.
- Por la eficiencia y características de los módulos de sedimentación, se puede reducir el uso de químicos y ligantes.
- Al disminuir la turbiedad del líquido que ingresa a los filtros, estos incrementan su tiempo de uso, repercutiendo directamente en el ahorro de agua y energía eléctrica.
- Se obtiene un mejoramiento de la clarificación del líquido y en mayor volumen de tratamiento al poder aumentar el caudal de ingreso.
- Presentan facilidad para su limpieza por tener un área completamente liza y la facilidad para su desalojo por su bajo peso, lo cual alarga su vida útil considerablemente.

1.3.4.3.1 CRITERIOS DE DISEÑO DEL SEDIMENTADOR CON SEDITUBOS⁵

Según Hazen, la acción de un sedimentador depende de su área, no de su profundidad, por lo que una subdivisión produce una doble área para recibir sedimentos, aumentando en gran proporción su eficiencia, el mismo efecto produce si presenta cortes debido a la presencia de placas horizontales, en gran número y con poca profundidad.

Una profundidad reducida implica que el agua que pasa por un espacio en un tiempo dado, será proporcionalmente mayor, al igual que la cantidad de lodos sedimentados.

En un sedimentador de un área dada, el Nre solo puede disminuirse acortando e, es decir aumentando el número de compartimientos.

Criterios de diseño

- Las unidades en una planta de tratamiento serán diseñadas para el caudal máximo diario.
- Se determina el área superficial de la unidad, que es el área superficial de la zona de sedimentación.

⁵ TEORÍA, DISEÑO Y CONTROL DE LOS PROCESOS DE CLARIFICACIÓN DEL AGUA
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320-05c.pdf>

- Determinar las dimensiones de largo, ancho y profundidad cumpliendo las relaciones o criterios establecidos de diseño.
- Determinar la velocidad de sedimentación de la unidad.
- Determinar el tiempo de retención.

Tabla 5 Criterios de diseño de un sedimentador con Seditubos

OBSERVACIÓN	CRITERIO
Periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos	8 -16 años.
Número de unidades mínimas por efectos de mantenimiento	2
Periodo de operación	24 horas por día
Tiempo de retención	2 – 6 horas
Carga superficial	2 – 10 m ³ /m ² /día
Profundidad	1,5 – 2,5 m
Número de Reynolds Nre	< 500
Relación de las dimensiones de largo y ancho (Ls/As)	3 - 6
Relación de las dimensiones de largo y profundidad (Ls/Hs)	5 - 20
Se da la remoción de partículas suspendidas.	$S \geq S_c$
Partícula suspendida será teóricamente removida	$S > 1$

FUENTE: Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores

De acuerdo al modelo de Camp, la carga superficial C_s del sedimentador es igual a la velocidad crítica de sedimentación V_{sc} .

Ecuación 1-14

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

Ecuación 1-15

$$A = L_s \times a_s$$

Dónde:

C_s : carga superficial del sedimentador

Q : caudal de diseño

A: área del sedimentador

Ls: largo del sedimentador

as: ancho del sedimentador

Según Yao,

Ecuación 1-16

$$S = \frac{V_s}{V_o} \operatorname{sen} \theta + L \cos \theta$$

Dónde:

S: constante del tipo de sedimentador

Vs: velocidad de caída de la partícula suspendida

Vo: velocidad promedio del flujo a través del sedimentador

θ : ángulo de inclinación de los seditubos

L: longitud relativa

Ecuación 1-17

$$L = \frac{l}{e}$$

Dónde:

l: altura del módulo de seditubos

e: ancho del seditubo

L: longitud relativa

Para cada flujo hay un valor crítico S , conocido como S_c , donde si $S \geq S_c$ se da la remoción de partículas suspendidas, mientras que cualquier partícula suspendida con $S < S_c$ será teóricamente removida.

Los valores del parámetro S_c según el tipo de sedimentador son⁶:

Tabla 6 Parámetro S_c según el tipo de sedimentador

TIPO DE SEDIMENTADOR	S_c
Placas planas paralelas	1
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Placas onduladas paralelas	1,3
Otras formas tubulares	1,33 – 1,42

FUENTE: Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores

Además,

Ecuación 1-18

$$V_{sc} = \frac{S_c V_o}{\text{sen } \theta + L \cos \theta}$$

Dónde:

V_{sc} : velocidad crítica de sedimentación

V_o : velocidad promedio del flujo a través del sedimentador

L : longitud relativa

S_c : S crítico para el tipo de sedimentador

θ : ángulo de inclinación de los seditubos

⁶ Proyecto de planta potabilizadora para agua potable en CIDADE VELHA. Cabo verde.

Para sedimentadores convencionales con $\theta=0$

Ecuación 1-19

$$C_s = \frac{S_c \times V_o}{L}$$

Y para sedimentadores con módulos de sedimentación con un θ de inclinación:

Ecuación 1-20

$$C_s = \frac{S_c \times V_o}{\text{sen } \theta + L \cos \theta}$$

Dónde:

Cs: carga superficial equivalente

Vo: velocidad promedio del flujo a través del sedimentador

L: longitud relativa

Sc: S crítico para el tipo de sedimentador

θ : ángulo de inclinación de los seditubos

Para que un sedimentador trabaje con alta velocidad es necesario que exista flujo laminar, siendo $Nre < 500$ y preferentemente $Nre < 250$. La presencia de turbulencia crea arrastre de partículas bajando la eficiencia.

Ecuación 1-21

$$Nre = \frac{V_o \times e}{\nu}$$

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

Dónde:

Nre: número de Reynolds

Vo: velocidad promedio del flujo a través del sedimentador

l: altura del módulo de seditubos

e: ancho del seditubo

ν : Viscosidad cinemática

trt: tiempo de retención

Ecuación 1-22

$$V_o = \frac{Q}{Al}$$

Dónde:

Al: área de la zona de sedimentación

Vo: velocidad promedio del flujo a través del sedimentador

Q: caudal de diseño

Ecuación 1-23

$$Al = a \times la$$

Dónde:

Al: área de la zona de sedimentación

a: ancho de la zona de sedimentación

la: largo de la zona de sedimentación

Ecuación 1-24

$$Ah = e^2$$

Dónde:

Ah: área hidráulica del seditubo

e: ancho del seditubo

Ecuación 1-25

$$N = \frac{Al}{Ah}$$

Dónde:

N: número de seditubos necesarios para la zona de sedimentación

Ah: área hidráulica del seditubo

Al: área de la zona de sedimentación

Ecuación 1-26

$$Am = lm \times am$$

Dónde:

Am: área del módulo de seditubos

lm: largo del módulo de seditubos

am: ancho del módulo de seditubos

Ecuación 1-27

$$n = \frac{Am}{Ah}$$

Dónde:

A_m : área del módulo de seditubos

A_h : área hidráulica del seditubo

n : número de tubos por módulo

Ecuación 1-28

$$m = \frac{N}{n}$$

Dónde:

m : número de módulos

N : número de seditubos necesarios para la zona de sedimentación

n : número de tubos por módulo

CAPÍTULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MUESTREO

2.1.1 TOMA DE MUESTRAS E INFORMACIÓN

Se tomó muestras representativas y en una cantidad suficiente para realizar todos los análisis de laboratorio respectivos, se tomó muestras de la fuente, así como también después del tratamiento. Tomando principalmente una muestra en la captación obteniendo agua cruda, una muestra después de la filtración, otra muestra en la entrada del agua regional y finalmente una muestra de agua resultante de la mezcla del agua filtrada con el agua regional, la cual será distribuida a la población.

Antes de tomar la muestra se debe usar recipientes adecuados y completamente limpios para evitar contaminaciones además de acondicionarlo a través del enjuague del mismo con una cantidad adecuada de muestra que será tomada, descartarla y proceder a su toma. Con dichas muestras correctamente identificadas y etiquetadas, estas fueron llevadas al laboratorio de control de calidad en la misma planta y se realizó los análisis físico-químico y microbiológico, principalmente 18 parámetros, previamente homogenizando cada muestra.

Para obtener el rendimiento de la planta, se tomó muestras de agua en puntos estratégicos de las etapas del proceso de potabilización analizando la turbiedad de las mismas, lo que permitió realizar comparaciones y análisis en detalle de cada proceso así como principalmente el control de los mismos.

Para la prueba de jarras se tomó una muestra de agua cruda en la captación, que tratándola a diferentes concentraciones de coagulante y en función del análisis de turbiedad permitió la determinación de la dosis adecuada del mismo.

Se tomaron muestras simples de acuerdo al cronograma acordado con el laboratorista de la planta de tratamiento de agua potable, y se relacionó estos datos para el diagnóstico de las condiciones iniciales de la planta, rendimiento y dosis adecuada de coagulante.

2.1.2 TRANSPORTE Y MANIPULACIÓN DE MUESTRAS

Para un adecuado transporte se dejó libre del 10 a 15% del volumen total del recipiente evitando derrames o pérdida de muestra. En cada muestra se llevó un protocolo de toma de muestra, donde se registró la ubicación exacta del punto de toma de muestra, situación de la misma, fecha y hora de toma, y demás descripciones de utilidad.

Se tomaron las medidas necesarias para evitar obtener desviaciones de los resultados del análisis, además de que fueron etiquetadas de la siguiente manera:

Tabla 7 Codificación de las muestras para la caracterización físico Química y microbiológica

Número de muestra	COD	Etapas del proceso	Denominación
1	C001	Captación 1	Agua cruda
2	C002	Filtración	Agua filtrada
3	C003	Captación 2	Agua regional
4	C004	Desinfección	Agua tratada

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

Tabla 8 Codificación de las muestras para el rendimiento de la planta

Número de muestra	COD	Punto de muestreo
1	RP001	Captación
2	RP002	Prefiltros salida
3	RP003	Tanque elevado
4	RP004	Tanque mezclador coagulante
5	RP005	Canal al floculador
6	RP006	Sedimentador 1
7	RP007	Sedimentador 2
8	RP008	Entrada al filtro 1
9	RP009	Entrada al filtro 2

10	RP010	Entrada al filtro 3
11	RP011	Salida filtros
12	RP012	Captación agua regional
13	RP013	Agua tratada

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

Tabla 9 Codificación de las muestras para la prueba de jarras

Número de muestra	Código
1	PJ001
2	PJ002
3	PJ003
4	PJ004
5	PJ005
6	PJ006

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

2.2 METODOLOGÍA

A las muestras obtenidas se realizó la caracterización físico-química y microbiológica, que consta de 18 parámetros especificados en la tabla 10, además de la prueba de jarras.

Tabla 10 Parámetros de Caracterización físico química y microbiológica del Agua

No	PARÁMETRO	UNIDAD
1	Color	Pt-Co
2	Turbiedad	NTU
3	Conductividad	μS/cm
4	pH	---
5	Sólidos Totales Disueltos	mg/L
6	Aluminio	mg/L
7	Amonio	mg/L

8	Fluoruros	mg/L
9	Fosfatos	mg/L
10	Hierro	mg/L
11	Manganeso	mg/L
12	Nitratos	mg/L
13	Nitritos	mg/L
14	Sulfatos	mg/L
15	Cloro	mg/L
16	Alcalinidad	mg/L
17	Coliformes totales	UFC/100mL
18	Coliformes fecales	UFC/100mL

FUENTE: Norma INEN 1108

Tabla 11 Parámetros para la prueba de jarras y determinación del rendimiento de la planta

No	PARÁMETRO	UNIDAD
1	Turbiedad	NTU

FUENTE: EMAPA, manual de técnicas de purificación, año 2009.

Una vez obtenidos los resultados y la caracterización del agua se procede con los respectivos análisis, cálculos, diseño que satisfaga las necesidades y requerimientos, de modo que el agua sea apta para el consumo humano.

2.2.1 EQUIPOS MATERIALES Y REACTIVOS

Tabla 12 Equipos Materiales y Reactivos

EQUIPOS	MATERIALES	REACTIVOS
Colorímetro	Buretas	Reactivos HACH
Conductímetro	Erlenmeyer	Indicadores PAN
Espectrofotómetro HACH	Peras	Solución EDTA
Estufa	Pinzas	Solución Buffer

Fotómetro Incubadora pH-metro Reverbero Turbidímetro Balanza Analítica Prueba de Jarras Termómetro Picnómetro	Pipetas Probetas Tubos de ensayo Vasos de precipitación Soporte Universal Pinza Doble para Buretas Peras de Succión Agitador Magnético Vasos de Precipitación Matraz erlenmeyer Frascos con tapa Malla de Asbesto Tubos Microbiológicos con tapa	Agua Destilada Soluciones amortiguadoras Colorante negro de Eriocromo T Ampollas m-ColiBlue24® Broth Ampollas m-Endo®Broth Ácido Sulfúrico Ácido Clorhídrico Ácido Nítrico Hidróxido de Amonio Alcohol Etílico Hidróxido de sodio Fenolftaleína Anaranjado de Metilo Murexida
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

2.2.2 MÉTODOS

El método de investigación que se utilizó fue comparativo, relacionando todos los datos obtenidos entre las condiciones iniciales de la planta y las finales luego de aplicado el estudio. Mediante el cual se explica el fenómeno y efectos que tiene la aplicación de diferentes métodos de potabilización en la obtención de agua con mejor calidad. Se realizó una observación in situ para el diagnóstico del funcionamiento de la planta, mientras que la experimentación se llevó a cabo en el laboratorio de control de calidad, planteando así las alternativas de mejora para conseguir la optimización del sistema.

Los métodos utilizados hacen referencia al APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. “Standar Methods for Examination of Water and Wastewater”, Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y Residuales; así como los Métodos HACH, proporcionados por el mismo equipo.

Se contó con la colaboración del Director de la Unidad de Agua potable del cantón Cevallos y el laboratorista de la planta de tratamiento de agua potable, quienes supervisaron

las mediciones y estudios en el área por parte del GADM del cantón Cevallos. Además del Director de tesis y asesor quienes apoyaron para el curso exitoso del proyecto.

Se requirió procedimientos que son formulados de una manera lógica para la adquisición de información y cumplimientos de objetivos. Tomando en cuenta entonces tres métodos: inductivo, deductivo y experimental.

2.2.2.1 INDUCTIVO

Parte de lo simple a lo complejo, de las partes al todo, se caracteriza porque tiene una síntesis. Partiendo del diagnóstico nos ayudó a conocer los parámetros que no cumplen con los requerimientos establecidos en normativas para agua de consumo humano, mediante el análisis cuidadoso del agua cruda, filtrada, regional y tratada en el lugar de estudio.

2.2.2.2 DEDUCTIVO

Se da de lo general a lo particular, deduce los efectos que produce la distribución de una agua tratada de deficiente calidad así como otros aspectos que no se están llevando a cabo correctamente, dando posibles soluciones.

2.2.2.3 EXPERIMENTAL

Se analizó los datos experimentales antes y después del proceso de potabilización mediante el uso de instrumentos confiables. Se tiene los análisis de caracterización mediante equipos y materiales adecuados, calibrados con resultados validados y certeros.

2.2.3 TÉCNICAS⁷

Constituyen un conjunto de reglas, normas o protocolos para la obtención de un resultado determinado mediante prácticas de laboratorio en los cuales se enlistan y se describen los procedimientos que se utilizan en ensayos experimentales, así como técnicas e instrumentos implementados para obtener las diferentes variables del proceso en estudio.

⁷ APHA - AWWA - WPCF: Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (Standard Methods). Ediciones Díaz de Santos, Madrid, 1992.

Entre los métodos de análisis se tiene:

Tabla 13 Métodos de análisis

DETERMINACIÓN	ENSAYO	MÉTODO/ NORMA DE REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
Toma y manejo de muestras		SM *1060 C	Tomar cuatro muestras de agua cruda, agua filtrada, agua regional y agua tratada, en frascos estériles y correctamente etiquetados.
Turbiedad	Nefelométrico	SM 2130 B, HACH 8237	Se usa un turbidímetro.
Color	Comparativo - Colorimétrico	HACH 8025	Comparando el color
pH	Electrométrico	SM 4500-H+ B	Se usa un electrodo de cristal
Conductividad		SM 2510 B	Usar un conductímetro
Sólidos disueltos		SM 2510 B	Se usa un electrodo de cristal adecuando la lectura correspondiente
Alcalinidad	Volumétrico	SM * 2320 B	Anadir a la muestra el indicador y valorarla.
Dureza		SM * 2340 B y C	Añadir a la muestra el buffer junto con el indicador y valorar.
Fluoruros	Espectrofotométrico ⁸	Método HACH	Colocar los reactivos indicados en la muestra y leer en el espectrofotómetro
Fosfatos		Método 8048 HACH PhosVer 3 Método de ácido ascórbico1	
Hierro		Método 8008 HACH Método FerroVer1	
Manganeso		Método 8149 HACH Método PAN	
Nitratos		Método 8039 HACH Método de	

⁸ Adaptación de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

		reducción de cadmio	
Nitritos		Método 8507 HACH Método diazotación	
Nitrógeno Amoniacal		Método 8038 HACH Método Nessler SM 4500-NH ₃ B & C	
Sulfatos		Método HACH	
Aluminio		Método 8012 HACH Método Aluminón	
Cloro		Método 8021HACH Método DPD	
Coliformes Fecales	Sembrado	SM 9222 D	Esterilizar el equipo, sembrar y leer a 24 h contando las colonias formadas.
Coliformes Totales		SM 9222 B	

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

2.3 DATOS EXPERIMENTALES

2.3.1 DIAGNÓSTICO

En el diagnóstico del funcionamiento de la planta de tratamiento se observó que la misma no cuenta con una dosificación adecuada y técnica de coagulante químico el POLICLORURO DE ALUMINIO PQPAC 001, que facilite la misma evidenciando efectos negativos en su rendimiento. Al no contar con una adecuada dosificación se puede tener el uso innecesario de cantidades considerables de producto químico, sin economizar entonces diversos recursos principales como económicos, esfuerzo humano y tiempo afectando la calidad del agua tratada.

También se evidencia la presencia de algas en los canales conductores que llevan a las siguientes etapas de proceso pudiendo afectar la calidad del agua tratada y rendimiento de cada proceso.

Actualmente la caracterización del agua potable tratada en la planta nos indica que ésta cumple con los límites establecidos en la NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 108: 2011, cuarta revisión, Agua potable, sin embargo haciendo referencia a la Norma INEN 1 108:2006, Segunda revisión los fosfatos no cumplen siendo 0,35 mg/L y el límite máximo permisible de 0.1 mg/L.

Además se cuenta con un floculador hidráulico muy pequeño por lo que se ve necesario implementar unidades que ayuden y contribuyan al proceso de potabilización, no se cuenta con una unidad de mezcla rápida, además de contar con un sedimentador convencional no muy eficiente.

El rendimiento de la planta en si no es mala sin embargo se busca elevar dicho rendimiento mediante el aprovechamiento al máximo de todos los recursos existentes.

2.3.1.1 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN CEVALLOS

2.3.1.1.1 LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La optimización de la Planta de tratamiento de agua potable del cantón Cevallos se efectuó en el sector El Mirador, donde está ubicada la misma, en el cantón Cevallos, ubicado al sur de la provincia de Tungurahua, a N 9850262,65 E 765105,03.

La planta se abastece del canal de riego Mocha - Huachi, ubicada en el sector de Olalla del cantón Mocha, desde la toma de agua hasta los decantadores, el agua se conduce por medio de un acueducto de 14 Km de longitud con instalaciones de conducción y distribución que en su mayoría son tuberías de PVC con varias dimensiones. El agua cruda llega a la planta de tratamiento ubicada en el sector El Mirador que abastece actualmente a 7962 habitantes del cantón.

2.3.1.1.2 UNIDADES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

La planta de tratamiento cuenta actualmente con las siguientes unidades:

- 2 Decantadores
- 3 Prefiltros
- Área de preparación de producto químico con 2 tanques
- Filtro ascendente o tanque elevado
- Tanque para la agregación del PQPAC 001 al 1 %
- Floculador hidráulico
- 2 sedimentadores
- Tanque distribuidor
- 3 filtros
- Tanque de inyección de cloro a la mezcla de agua filtrada y agua regional
- 3 Tanques de almacenamiento de agua tratada
- Laboratorio de control de calidad

2.3.1.1.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO ACTUAL

CAPTACIÓN:

El sistema se abastece del canal de riego Mocha – Huachi, son captados 10 L/s, mediante una toma lateral, ubicada en el lecho de la acequia en el sector de Olalla del cantón Mocha.

DECANTACIÓN:

Desde la toma de agua hasta dos Decantadores, el agua se conduce por medio de un acueducto de 14 Km de longitud.

PREFILTRACIÓN:

El siguiente proceso son las unidades de pre filtración, 3 pre filtros ubicados a 200 m de la planta de tratamiento; compuesto de tres tanques que contienen ripio graduado donde se retienen el material semi grueso (Arena) que no retuvo los decantadores. Ya en la planta de tratamiento, el agua pasan a un filtro ascendente, tanque elevado preparado de arena, que

retiene los sólidos sedimentables, (limos) el barro arcilloso fino y se depositan en el fondo del tanque.

COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN:

El agua pasa a otro tanque por desborde. En donde la inyección del polímero como producto químico (coagulante), POLICLORURO DE ALUMINIO PQPAC 001 se realiza para la desestabilización del coloide o turbiedad del agua. Con las siguientes especificaciones:

Tabla 14 Especificaciones del Policloruro de Aluminio PQPAC 001

PARÁMETRO	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
Al ₂ O ₃ %	19,0 +/- 1	19,29
Densidad a 25 °C, g/ml	1,320 +/- 0,01	1,3220
pH Directo	2,10 a 3,50	2,21
Al / Cl	0,77 +/- 0,10	0,85
Basicidad	70 % Min.	70

FUENTE: Productos Químicos Panamericanos S.A. Certificado de Calidad

La floculación hidráulica se realiza en canales en forma de serpentín, la misma que reduce la velocidad de ingreso del agua produciendo la mezcla con el polímero y la formación del flóculo.

SEDIMENTACIÓN:

Se realiza en dos tanques con fondo adecuado para la acumulación de los flóculos sedimentados.

Los Sedimentadores en su tramo final poseen vertederos en los cuales se capta la capa superior del agua – que contiene menor turbiedad – por medio de estos vertederos de abertura triangular, el agua pasa a la zona de filtración.

FILTRACIÓN:

Un filtro está compuesto por un manto sostén: piedras, grava y arena. La filtración se realiza a través de tres filtros, ingresando el agua sedimentada por un canaleta que amortigua la caída brusca.

A través de la gravedad el agua desciende por los mantos filtrantes que retienen las impurezas o turbiedad residual que ha pasado la sedimentación.

DESINFECCIÓN:

Este sistema de desinfección es de última tecnología, posee un sistema automático de dosificación de cloro gas. Luego que el agua fue filtrada, pasa al tanque, de inyección de cloro gas mediante un serpentín que realiza la mezcla. En este mismo tanque se mezcla el agua filtrada con 4 L/s de agua proveniente del canal regional, sobre lo cual se adiciona el cloro gas.

El cloro es indudablemente el elemento más importante que existe para la desinfección del agua. Se suele usar en una dosis de 0,85 ppm que destruye todos los microbios en cuatro minutos. Asegurando la salud de la población ya que al agua potable se le exige que no contenga microorganismos patógenos.

Además se usa para eliminar olores y sabores, decolorar, ayudar a evitar la formación de algas, quitar el hierro y manganeso, así como en la coagulación de materias orgánicas.

ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN:

El almacenamiento y distribución es la etapa final del proceso. El sistema cuenta con una capacidad de almacenamiento de 1600 metros cúbicos, se tiene 3 tanques, los mismos que tienen las seguridades y están ubicados en sitios estratégicos para mantener un servicio y distribución continua del agua potable.

CONTROL DE CALIDAD

La planta de tratamiento de Agua Potable cuenta con un Laboratorio de Control de Calidad, totalmente equipado e instalado en la planta de tratamiento, que funciona de manera permanente realizando los análisis físicos químicos y microbiológicos.

2.3.2 DATOS

2.3.2.1 CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA

Para determinar la calidad de agua se realizó una caracterización físico-química y microbiológica, además de la prueba de jarras, junto con el análisis de cada etapa del proceso para establecer el rendimiento de la planta, y demás parámetros necesarios para el diseño de las unidades requeridas, los datos se los muestran en las siguientes tablas.

Tabla 15 Caracterización Físico Química y Microbiológica

1. ANALISIS FÍSICO QUÍMICO						
PARÁMETROS	unidades	NORMA INEN- agua potable Límite máximo permisible	AGUA CRUDA	AGUA FILTRADA	AGUA REGIONAL	AGUA TRATADA
			C001	C002	C003	C004
pH		6,5-8,5	7,24	7,87	7,61	7,42
Color real	U. Pt- Co	15	80	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	12,7	2,18	1,29	1,93
Conductividad	µS/cm	750	175,1	175,7	122,9	163,8
Solidos totales disueltos	mg/L	1000	85,8	86,1	60,2	80,3
Alcalinidad total	mg/L		61	61	61	59
Hierro total	mg/L	0,3	0,63	0,19	0,15	0,18
Manganeso	mg/L	0,4	0,022	0,007	0,007	0,009
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	1,0	0,03	0,02	0,05	0,05
Nitratos	mg/L	50	1	1	0,8	1,3
Nitritos	mg/L	0,2	0,004	0,006	0,009	0,015
Sulfatos	mg/L	200	60	0	30	20

Flúor	mg/L	1,5	0,35	0,28	0,06	0,37
Fosfatos	mg/L	0,1	0,56	0,43	0,19	0,29
Aluminio	mg/L	0,25	0,033	0,041	0,013	0,015
Cloro total	mg/L	0,3-1,5	-	-	-	1,19
2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO						
Coliformes totales	UFC/100 mL	< 2	55	55	0	0
Coliformes fecales	UFC/100 mL	< 2	22	22	0	0

FUENTE: Laboratorio de control de calidad de la planta de tratamiento de agua potable del cantón Cevallos

Tabla 16 Caracterización Físico Química y Microbiológica del agua tratada

1. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO AGUA TRATADA							
PARÁMETROS	unidades	NORMA INEN- agua potable Límite máximo permisible	muestra1	muestra2	muestra3	muestra 4	Promedio
			C004				
pH		6,5-8,5	7,42	7,25	7,20	7,42	7,32
Color real	U. Pt-Co	15	5	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	1,93	1,32	2,75	1,94	1,99
Conductividad	μS/cm	750	163,8	168,7	162,3	149,3	161,03
Solidos totales disueltos	mg/L	1000	80,3	70,9	78,6	81,4	77,80
Alcalinidad total	mg/L		59	61	61	59	60,00
Hierro total	mg/L	0,3	0,18	0,22	0,21	0,16	0,19
Manganeso	mg/L	0,4	0,009	0,088	0,034	0,014	0,04
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	1,0	0,05	0,6	0,08	0,05	0,20
Nitratos	mg/L	50	1,3	0,94	0,68	0,62	0,89
Nitritos	mg/L	0,2	0,015	0,009	0,006	0,003	0,01
Sulfatos	mg/L	200	20	40	29	16	26,25
Flúor	mg/L	1,5	0,37	0,46	0,33	0,27	0,36
Fosfatos	mg/L	0,1	0,29	0,59	0,28	0,25	0,35
Aluminio	mg/L	0,25	0,015	0,009	0,006	0,001	0,01
Cloro total	mg/L	0,3-1,5	1,19	0,98	0,51	0,56	0,81
2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO							
Coliformes	UFC/	< 2	0	0	0	0	0

totales	100 mL						
Coliformes fecales	UFC/100 mL	< 2	0	0	0	0	0

FUENTE: Laboratorio de control de calidad de la planta de tratamiento de agua potable del cantón Cevallos

2.3.2.2 RENDIMIENTO DE LA PLANTA

Tabla 17 Datos para el Rendimiento actual de la planta

No	COD	Punto de muestreo	Turbiedad NTU				
			Muestra1	Muestra2	Muestra3	Muestra4	promedio
1	RP001	Captación	11	18	25	17	17,75
2	RP002	Prefiltros salida	10,8	17,4	21,4	16,7	16,58
3	RP003	Tanque elevado	10,5	17,1	21	16,4	16,25
4	RP004	Tanque mezclador coagulante	11,6	18,3	21,1	18,2	17,3
5	RP005	Canal al floculador	12	17,8	21,2	17,9	17,23
6	RP006	Sedimentador 1	29,9	4,6	15,9	17,9	17,08
7	RP007	Sedimentador 2	7,4	1,9	19,8	11	10,03
8	RP008	Entrada al filtro 1	9,3	3,12	22,7	11,8	11,73
9	RP009	Entrada al filtro 2	9,1	3,11	22,5	12	11,5
10	RP010	Entrada al filtro 3	9	3,11	22,1	11,7	11,48
11	RP011	Salida filtros	1,5	1,01	2,1	1,4	1,5
12	RP012	Captación agua regional	1,29	2,28	3,1	1,7	2,09
13	RP013	Agua tratada	1,5	1,32	2,75	2,1	1,92

FUENTE: Laboratorio de control de calidad de la planta de tratamiento de agua potable del cantón Cevallos

2.3.2.3 PRUEBA DE JARRAS

Tabla 18 Datos para la prueba de jarras

Numero de muestra	Código	Dosis de coagulante, ppm	Turbiedad, NTU
1	PJ001	10	7,23
2	PJ002	15	4,22
3	PJ003	20	3,55
4	PJ004	25	2,62
5	PJ005	30	3,13
6	PJ006	35	2,98

FUENTE: Laboratorio de control de calidad de la planta de tratamiento de agua potable del cantón Cevallos

2.3.2.4 PARÁMETROS FUERA DE NORMA

Una vez realizada la caracterización del agua tratada, se compararon los valores obtenidos con los límites máximos permisibles según la norma AGUA POTABLE. REQUISITOS NTE INEN 1 108:2011, así el agua cumple con todos los parámetros establecidos en la misma, sin embargo haciendo referencia a la Norma INEN 1 108:2006 segunda revisión no cumple:

Tabla 19 Parámetros Físicos – Químicos fuera de norma

PARÁMETRO	LÍMITE MAX.	RESULTADO
Fosfatos mg/L	0,1	0,35

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

CAPÍTULO III

3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 CÁLCULOS

3.1.1 RENDIMIENTO ACTUAL DE LA PLANTA

Tabla 20 Rendimiento actual de la planta

N	Puntos de muestreo	Turbiedad NTU	% Rendimiento
1	Captación	17,75	0
2	Prefiltros	16,58	6,59
3	Tanque elevado	16,25	8,45
4	Tanque mezclador coagulante	17,3	2,54
5	Canal al floculador	17,23	2,93
6	Sedimentador 1	17,08	3,77
7	Sedimentador 2	10,03	43,49
8	Entrada al filtro 1	11,73	33,92
9	Entrada al filtro 2	11,5	35,21
10	Entrada al filtro 3	11,48	35,32
11	Salida filtros	1,5	91,55
12	Agua regional	2,09	88,23
13	Agua tratada	1,92	89,18

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

RENDIMIENTO DE LA PLANTA

Dónde:

X: % remoción de turbiedad del agua tratada con respecto al agua en la captación

Rendimiento de la planta= 100 % rendimiento - X

Rendimiento de la planta= 100- 10,82=89,18%

3.1.2 PRECLORACIÓN⁹

En el punto de inyección del PAC 001, se adiciona hipoclorito de calcio al 70%, realizando así una precloración, con el objetivo de eliminar todas las algas y demás microorganismos presentes en los conductos de un proceso a otro, además de ayudar al proceso de floculación, preparando de cierta forma el agua cruda y mejorando las condiciones favoreciendo una mejor formación de floc, basándose entonces en la siguientes dosis recomendadas:

Tabla 21 Demanda de cloro para aguas

Aguas claras	0,3 mg/L
Aguas turbias	1,5 mg/L

FUENTE: MUÑOZ M. BALAREZO A., (1992)

Para lo cual es óptimo usar 0,3 ppm tomando en cuenta la poscloración en la desinfección, usando cloro gas, en donde no se debe superar los límites permisibles de cloro de acuerdo a la norma INEN correspondiente.

PARÁMETROS DE DISEÑO

Tabla 22 Parámetros de diseño para la precloración

Caudal de diseño, Q	10 L/s
Dosis de cloro, d	0,3 ppm
Porcentaje de cloro en el hipoclorito de calcio, P	70%
Volumen del tanque de precloración, V	100 L
Tiempo de consumo del hipoclorito de calcio, Ta	1 día
Volumen conocido del recipiente de aforo, V2	50 mL
Tiempo experimental necesario para aforar el hipoclorito de calcio preparado en solución en un V2, te	43,2 s

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

⁹ EMAPA, manual de técnicas de purificación , año 2009

Caudal de diseño

$$Q = \frac{10 L}{s} \times \frac{1 m^3}{1000 L} \times \frac{3600 s}{1 h} \times \frac{24 h}{1 dia} = 864 \frac{m^3}{dia}$$

Dónde:

Q: caudal de diseño

Cantidad de hipoclorito de calcio necesaria

Ecuación 3-1

$$C = Q * d$$

$$C = 864 \frac{m^3}{dia} \times 0,3 \frac{g}{m^3} = 259,2 \frac{g}{dia} = 0,2592 \frac{kg}{dia}$$

$$C = 0,2592 \frac{kg}{dia} \times \frac{2,2 lb}{1 kg} = 0,57 \frac{lb}{dia}$$

$$C = \frac{0,57 \frac{lb}{dia}}{0,70} = 0,81 \frac{lb}{dia}$$

Dónde:

C: consumo de hipoclorito de calcio al 70 %

Q: caudal de diseño

d: dosis de cloro

Diluir 0,81 lb en 100 L de agua, lo que será consumido en un día

Prueba de aforo

Ecuación 3-2

$$tt = \frac{V2xTa}{V}$$

$$tt = \frac{50 \text{ mL} \times 86400 \text{ s}}{100000 \text{ mL}} = 43,2 \text{ s}$$

Dónde:

V2: volumen conocido del recipiente de aforo

Ta: tiempo de consumo del hipoclorito de calcio

tt: tiempo teórico necesario para aforar un volumen V2 del hipoclorito de calcio

Caudal de dosificación de hipoclorito de calcio a 0,3 ppm de cloro tomada en el punto de inyección del hipoclorito junto con el PAC 001 en el proceso de coagulación.

Ecuación 3-3

$$Qh = \frac{V2}{te}$$
$$Qh = \frac{50 \text{ mL}}{43,2 \text{ s}} = 1,16 \frac{\text{mL}}{\text{s}}$$

Dónde:

Qh: caudal de hipoclorito de calcio

V2: Volumen conocido del recipiente de aforo

te: tiempo experimental necesario para aforar el hipoclorito de calcio preparado en solución en un recipiente V2

La dosificación de hipoclorito de calcio en la planta de tratamiento será la correcta si un volumen de 50 mL es recogido con hipoclorito de calcio 0,3 ppm preparado en solución, en un tiempo de 43,2 s, cumpliendo con:

Ecuación 3-4

$$tt = te$$

$$tt = te = 43,2 \text{ s}$$

Si en el caso de que los tiempos no sean iguales se debe regular las válvulas que permiten la caída del hipoclorito de calcio hasta que dicho tiempos sean iguales.

3.1.3 MEZCLA RÁPIDA CON VERTEDEROS RECTANGULARES

PARÁMETROS DE DISEÑO

Tabla 23 Parámetros de diseño para un vertedero rectangular

Caudal de diseño, Q	10 L/s
Ancho del vertedero, B	0,30 m
Altura del vertedero, P	0,90 m
Temperatura del agua, T	10 ° C
Viscosidad dinámica μ	$1,307 \times 10^{-3}$ Ns/m ²
Peso específico del agua, γ	9800 N/m ³

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

Caudal específico

Ecuación 3-5

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

$$q = \frac{0,01 \text{ m}^3/\text{s}}{0,3 \text{ m}} = 0,033 \text{ m}^2/\text{s}$$

Dónde:

Q: caudal de entrada

B: ancho del vertedero

q: caudal específico

Altura crítica de flujo

Ecuación 3-6

$$h_c = \frac{q^2}{g}^{\frac{1}{3}}$$

$$h_c = \frac{(0,033 \text{ m}^2/\text{s})^2}{9,8 \text{ m/s}^2}^{\frac{1}{3}} = 0,048 \text{ m}$$

Dónde:

q: caudal específico

g: gravedad

hc: altura crítica

Altura del agua en la sección 1

Ecuación 3-7

$$h_1 = \frac{\bar{2} h_c}{1,06 + \frac{P}{h_c} + 1,5}$$
$$h_1 = \frac{\bar{2} (0,048 \text{ m})}{1,06 + \frac{0,9 \text{ m}}{0,048 \text{ m}} + 1,5} = 0,012 \text{ m}$$

Dónde:

h1: altura del agua en la sección 1

hc: altura crítica

P: altura del vertedero

Velocidad en la sección 1

Ecuación 3-8

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

$$v_1 = \frac{0,033 \text{ m}^2/\text{s}}{0,012 \text{ m}} = 2,75 \text{ m/s}$$

Dónde:

v_1 : velocidad en la sección 1

h_1 : altura del agua en la sección 1

q : caudal específico

Número de Froude en la sección 1

Ecuación 3-9

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$

$$F_1 = \frac{2,75 \text{ m/s}}{\sqrt{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,012 \text{ m}}} = 8,02$$

8,02 → 4,5 – 9 óptimo, resalto estable con mezcla eficiente

Dónde:

F_1 : número de Froude en la sección 1

h_1 : altura del agua en la sección 1

v_1 : velocidad en la sección 1

g : gravedad

Altura del agua en la sección 2

Ecuación 3-10

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \sqrt{1 + 8F_1^2} - 1$$

$$h_2 = \frac{0,012m}{2} \sqrt{1 + 8 \cdot 8,02^2} - 1 = 0,13 m$$

Dónde:

F1: número de Froude en la sección 1

h1: altura del agua en la sección 1

h2: altura del agua en la sección 2

Velocidad en la sección 2

Ecuación 3-11

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

$$v_2 = \frac{0,033 m^2/s}{0,13 m} = 0,254 m/s$$

Dónde:

v_2 : velocidad en la sección 2

h2: altura del agua en la sección 2

q: caudal específico

Pérdida de carga en el resalto

Ecuación 3-12

$$h = \frac{h_2 - h_1^3}{4 h_1 h_2}$$

$$h = \frac{0,13 m - 0,012 m^3}{4 (0,012m \times 0,13 m)} = 0,263 m$$

Dónde:

h: pérdida de carga en el resalto

h1: altura del agua en la sección 1

h2: altura del agua en la sección 2

Longitud del resalto

Ecuación 3-13

$$L_j = 6 h_2 - h_1$$

$$L_j = 6 \cdot 0,13 \text{ m} - 0,012 \text{ m} = 0,708 \text{ m}$$

Dónde:

L_j : Longitud del resalto

h1: altura del agua en la sección 1

h2: altura del agua en la sección 2

Velocidad media en el resalto

Ecuación 3-14

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$v_m = \frac{2,75 \text{ m/s} + 0,254 \text{ m/s}}{2} = 1,502 \text{ m/s}$$

Dónde:

v_m : velocidad media en el resalto

v_1 : velocidad en la sección 1

v_2 : Velocidad en la sección 2

Tiempo de mezcla:

Ecuación 3-15

$$t_m = \frac{L_j}{v_m}$$

$$t_m = \frac{0,708 \text{ m}}{1,502 \text{ m/s}} = 0,471 \text{ s}$$

Dónde:

v_m : velocidad media en el resalto

L_j : longitud del resalto

t_m : tiempo de mezcla

Gradiente de velocidad

Ecuación 3-16

$$G = \frac{\overline{\gamma h}}{\mu t_{RE}}$$

$$G = \frac{9800 \frac{N}{m^3} \times 0,263 \text{ m}}{1,307 \times 10^{-3} \frac{Ns}{m^2} \times 0,471 \text{ s}} = 2046,71 \text{ s}^{-1}$$

Dónde:

γ : Peso específico del agua

h : pérdida de energía en el resalto

μ : viscosidad dinámica del agua

t_{RE} : tiempo de retención

G: gradiente de velocidad

3.1.4 DOSIFICACIÓN DEL COAGULANTE¹⁰

Tabla 24 Parámetros de dosificación de coagulante

Producto químico	Policloruro de aluminio PAC 001
Concentración de la Solución de trabajo, Ct	1%
Concentración de solución de PAC para la dosificación, Cd	1%
Densidad PAC 001, ρ	1,33 g/mL
Volumen de la solución de trabajo, Vt	500 mL
Volumen de las jarras, Vj	2000 mL
Tiempo de consumo del PAC , Tp	1 día

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

3.1.4.1 PRUEBA DE JARRAS

Preparación de la Solución de trabajo de coagulante PAC 001 al 1%

$$Ct = \frac{1 \text{ g PAC}}{100 \text{ mL sol}} = \frac{10 \text{ g PAC}}{1000 \text{ mL sol}}$$

Ecuación 3-17

$$V_s = \frac{Ct \times Vt}{\rho}$$

$$V_s = \frac{10 \text{ g PAC}}{1000 \text{ mL solución}} \times \frac{1 \text{ mL solución}}{1,33 \text{ g PAC}} \times 500 \text{ mL solución al 1\%}$$

$$= 3,76 \text{ mL de PAC puro}$$

Tomar un volumen de 3,76 mL de PAC puro y diluir a un volumen de 500 mL.

¹⁰ EMAPA, manual de técnicas de purificación , año 2009

Dónde:

Vs: Volumen de PAC puro a Vt

Ct: Concentración de la Solución de trabajo

ρ : Densidad PAC 001

Vt: Volumen de la solución de trabajo

Concentración de coagulante ppm (mg/L) PAC al 1%

$$Cd = 1\% = \frac{1 \text{ g PAC}}{100 \text{ mL sol}} = \frac{1000 \text{ mg PAC}}{100 \text{ mL sol}} = \frac{10 \text{ mg PAC}}{1 \text{ mL sol}}$$

1 ml. \longleftrightarrow 10 mg.

Dónde:

Cd: Concentración de la solución de PAC para la dosificación

Concentración de PAC 5 ppm D5

$$V5 = \frac{5 \text{ mg PAC}}{1 \text{ L sol}} \times \frac{1 \text{ mL sol al } 1\%}{10 \text{ mg PAC}} \times \frac{1 \text{ L sol}}{1000 \text{ mL sol}} \times 2000 \text{ mL sol} = 1 \text{ mL sol al } 1\%$$

Dónde:

D5: concentración del PAC

V5: volumen de solución al 1% a aforar a 2000 mL

Tomar 1 mL de solución al 1% y diluir a 2000 mL se obtendrá una concentración de 5 ppm.

Las dosis de coagulante y el volumen de la solución a aplicarse en cada una de las jarras serán:

Tabla 25 Dosis de coagulante a añadir en cada jarra de 2 litros

Dosis de solución al 1% (mL)	Dosis de coagulante ppm
1	5
2	10
3	15

4	20
5	25
6	30
7	35
8	40
9	45

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

Colocar los mL de solución al 1% en cada una de las 6 jarras de 2 litros de agua cruda, para obtener las diferentes concentraciones de coagulante y llevarlas dentro del equipo. Poner en marcha todo el sistema, y determinar la dosis adecuada en función de la menor turbiedad.

Las dosis de la solución que se agregarán a cada una de las jarras deben ser diferentes, para poder definir la más óptima de las seis jarras.

Para ello se gradúa la velocidad del equipo a 100 revoluciones por minuto (rpm), agregar la dosis de coagulante simultáneamente a todas las jarras, se produce la mezcla rápida por un minuto, terminado este periodo se regula la velocidad a 40 revoluciones por minuto por 15 minutos para la mezcla lenta.

Terminada la mezcla lenta dejar en reposo 15 minutos, simulando el proceso de sedimentación. Finalmente tomar cuidadosamente una muestra de agua clarificada de todas las jarras para medir las turbiedades de cada jarra sin mover las muestras.

3.1.4.2 DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN CEVALLOS

Tabla 26 Datos y parámetros para la prueba de jarras

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN
Coagulante	PAC 001
Turbidez inicial	24,3 NTU
Volumen de las jarras	2000 mL
Tiempo de mezcla rápida	1 minutos a 100 rpm
Tiempo de mezcla lenta	15 minutos a 40 rpm

Tiempo de reposo	15 minutos
Volumen del tanque de almacenamiento PAC al 1 %, V	1000 L
Volumen del recipiente de aforo, V2	50 mL

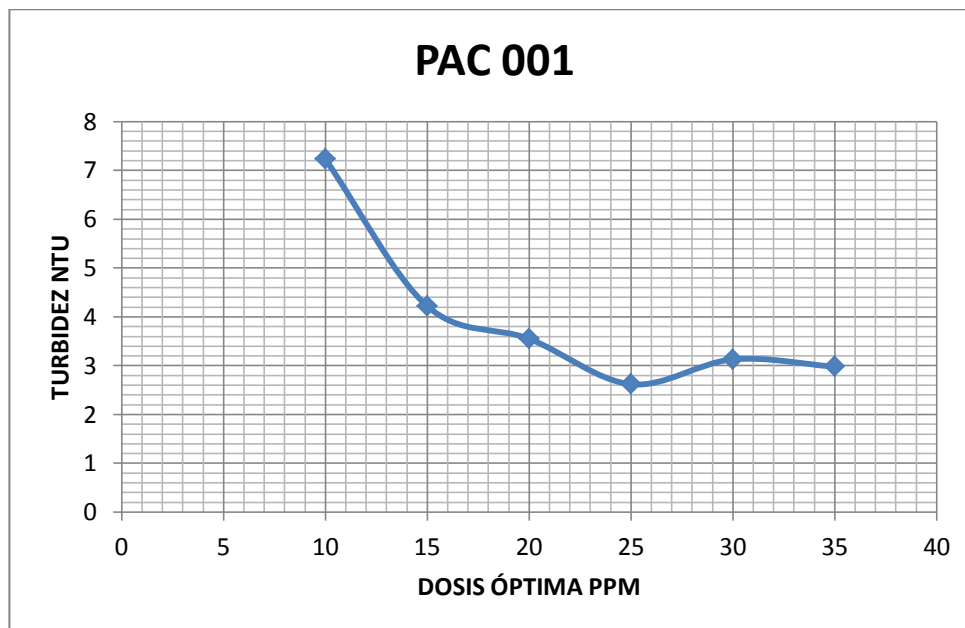
FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

Tabla 27 Turbidez en función de la dosis de PQPAC 001

JARRA	Dosis óptima de coagulante ppm	Turbidez NTU
1	10	7,23
2	15	4,22
3	20	3,55
4	25	2,62
5	30	3,13
6	35	2,98

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

Gráfico 1 Variación de la turbidez en función de la dosis de PQPAC 001



FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

El mejor resultado obtenido para cada una de las dosis de coagulante es de 25 ppm, ya que se logra obtener una menor turbidez del agua cruda a tratar, cuyo valor está dentro de los requisitos que exige la Norma Ecuatoriana INEN 1108 para agua potable.

Caudal de tratamiento de la planta convencional

$$Q = \frac{10 L}{s} \times \frac{1 m^3}{1000 L} \times \frac{3600 s}{1 h} \times \frac{24 h}{1 dia} = 864 \frac{m^3}{dia}$$

Dónde:

Q: caudal de la planta de tratamiento

Preparación del PAC al 1%

$$Cd = \frac{1 g PAC}{100 mL sol} = \frac{10 g PAC}{1000 mL sol}$$

Ecuación 3-18

$$V1 = \frac{Cd \times V}{\rho}$$

$$V1 = \frac{10 g PAC}{1000 mL solución} \times \frac{1 mL solución}{1,33 g PAC} \times 1000 L solución al 1\% \\ = 7,52 L de PAC puro$$

Tomar un volumen de 7,52 L de PAC puro y diluir a un volumen de 1000 L.

Dónde:

V1: volumen de PAC puro a V

ρ : densidad PAC 001

V: volumen del tanque de almacenamiento de PAC al 1%

Cd: concentración de la solución de PAC para la dosificación

Dosis óptima de coagulante según la prueba de jarras

$$D = \frac{25 mg}{L} \times \frac{1 g}{1000 mg} \times \frac{1000 L}{1 m^3} = 25 \frac{g}{m^3}$$

Dónde:

D: dosis óptima de coagulante según la prueba de jarras

Consumo de PAC al día

Ecuación 3-19

$$W = Q * D$$

$$W = 864 \frac{m^3}{dia} \times \frac{25 g}{m^3} = 21\ 600 \frac{g}{dia} = 21,6 \frac{kg}{dia}$$

$$\rho_{PAC} = 1,33 \frac{g}{mL} \times \frac{1 kg}{1000 g} \times \frac{1000 mL}{1 L} = 1,33 \frac{kg}{L}$$

Ecuación 3-20

$$\rho = \frac{W}{V_p}$$

$$V_p = \frac{21,6 kg/dia}{1,33 kg/L} = 16,24 \frac{L}{dia} = 16\ 240,6 \frac{mL}{dia}$$

Dónde:

W: consumo de PAC en peso

D: dosis óptima de coagulante según la prueba de jarras

Q: caudal de la planta de tratamiento

ρ : Densidad del PAC

V_p: consumo de PAC puro al día

Ecuación 3-21

$$Q_p = \frac{V_p}{C_d}$$

$$Q_p = \frac{16\ 240,6 \frac{mL}{dia}}{0,01} = 1\ 624\ 060 \frac{mL}{dia}$$

Dónde:

V_p: consumo de PAC puro al día

C_d: concentración de la solución de PAC para la dosificación

Qp: consumo de PAC al 1% al día, caudal óptimo de coagulante para la planta de tratamiento

Ecuación 3-22

$$tt = \frac{V2}{Qp}$$
$$tt = \frac{50 \text{ mL} \times 86400 \text{ s}}{1624060 \text{ mL}} = 2,66 \text{ s}$$

Dónde:

V2: volumen del recipiente de aforo con PAC 1%

tt: tiempo teórico necesario para aforar un volumen V2

Qp: consumo de PAC al 1% al día, caudal óptimo de coagulante para la planta de tratamiento

Determinación simplificada de la dosis óptima de coagulante para la planta de tratamiento

$$V = 1000 \text{ L} = 1 \text{ m}^3$$
$$V1 = 10 \text{ L} = 10000 \text{ mL}$$

Ecuación 3-23

$$w = V1 \times \rho$$
$$w = 10000 \text{ mL} \times 1,33 \frac{\text{g}}{\text{mL}} = 13300 \text{ g PAC}$$

Ecuación 3-24

$$Qp = Q \times D \times f$$
$$Qp = \frac{10 \text{ L}}{\text{s}} \times \frac{25 \text{ g}}{\text{m}^3} \times 0,0045 \frac{\text{s m}^3}{\text{min g}} = 1,125 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 1125 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$$
$$f = \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{13300 \text{ g}} = 0,0045 \frac{\text{s m}^3}{\text{min g}}$$

Dónde:

V: volumen del tanque de almacenamiento de PAC al 1%

w: masa de PAC puro

V1: volumen de PAC puro

V: volumen del tanque de almacenamiento de PAC

Qp: caudal óptimo de coagulante para la planta de tratamiento

Q: caudal de la planta de tratamiento

D: dosis adecuada de PAC según la prueba de jarras

f: factor de simplificación

Ecuación 3-25

$$tt = \frac{V2}{Qp}$$
$$tt = \frac{50 \text{ mL} \times 60 \text{ s}}{1125 \text{ mL}} = 2,66 \text{ s}$$

Dónde:

V2: volumen del recipiente pequeño a llenar con PAC 1%

tt: tiempo teórico necesario para llenar un volumen V2

Qp: caudal óptimo de coagulante para la planta de tratamiento

Caudal de dosificación de PAC al 1% tomada en el punto de inyección del PAC en el proceso de coagulación.

Prueba de aforo

Ecuación 3-26

$$Qp = \frac{V2}{te}$$
$$Qp = \frac{50 \text{ mL}}{2,66 \text{ s}} = 18,8 \frac{\text{mL}}{\text{s}}$$

Dónde:

V2: volumen del recipiente pequeño a llenar con PAC 1%

te: tiempo experimental necesario para llenar el PAC preparado en solución en un recipiente de V2

Qp: caudal óptimo de coagulante para la planta de tratamiento

La dosificación de PAC en la planta de tratamiento será la correcta si un volumen de 50 mL de PAC preparado al 1% tomado en el proceso de coagulación, es decir el PAC al 1% que cae sobre el tanque de mezcla es llenado en un tiempo de 2,66 s, cumpliendo con:

$$t_t = t_e = 2,66 \text{ s}$$

Si en el caso de que los tiempos no sean iguales se debe regular las válvulas que permiten la caída del PAC al 1%, y más eficientemente con la implementación de la bomba dosificadora regular la apertura de la misma hasta que dicho tiempos sean iguales.

3.1.5 REDISEÑO DEL SEDIMENTADOR

Tabla 28 Parámetros de Rediseño del sedimentador

Parámetros de diseño	
Largo del sedimentador, Ls	10,9 m
Ancho del sedimentador, as	3 m
Largo de la zona de sedimentación, la	8 m
Número de sedimentadores, ns	2
Material de los módulos de seditubos	ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)
Espesor de las láminas, ee	1 mm
Ángulo de los tubos, θ	60 °
Tamaño de los tubos cuadrados , e	8 x 8 cm
Ancho del módulo, am	80 cm
Largo del módulo, lm	246 cm
Altura del módulo, l	100 cm
Caudal de diseño, Q	10 L/s
Temperatura del agua, T	10 ° C
Viscosidad cinemática, ν	1,307 x10 ⁻² cm ² /s
Constante S crítico para el tipo de sedimentador, Sc	11/8

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013, Proforma proporcionada por Quimicalzen

CARGA SUPERFICIAL ACTUAL

Caudal de diseño

$$Q = \frac{10 L}{s} \times \frac{1 m^3}{1000 L} \times \frac{3600 s}{1 h} \times \frac{24 h}{1 dia} = 864 \frac{m^3}{dia}$$

Dónde:

Q: caudal de diseño

Área del sedimentador

Ecuación 3-27

$$A = n Ls \times as$$

$$A = 2 \ 10,9 m \times 3 m = 65,4 m^2$$

Dónde:

A: área del sedimentador

Ls: largo del sedimentador

as: ancho del sedimentador

n: número de unidades de sedimentación

Carga superficial actual

Ecuación 3-28

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

$$Csa = \frac{864 m^3 dia}{65,4 m^2} = 13,21 \frac{m^3}{m^2 dia}$$

Dónde:

Csa: carga superficial actual del sedimentador

A: área del sedimentador

Q: caudal de diseño

CARGA SUPERFICIAL EQUIVALENTE DESPUÉS DE INSTALADOS LOS MÓDULOS

Longitud relativa

Ecuación 3-29

$$L = \frac{l}{e}$$

$$L = \frac{1 \text{ m}}{0,08 \text{ m}} = 12,5$$

Dónde:

l: altura del módulo de seditubos

e: ancho del seditubo

L: longitud relativa

Área de sedimentación acelerada

Ecuación 3-30

$$Al = a \times la$$

$$Al = 3 \text{ m} \times 8 \text{ m} = 24 \text{ m}^2$$

Dónde:

Al: área de sedimentación acelerada

a: ancho de la zona de sedimentación

la: largo de la zona de sedimentación

Velocidad promedio de flujo por sedimentador

Ecuación 3-31

$$V_o = \frac{Q}{Al}$$

$$V_o = \frac{864 \text{ m}^3/\text{dia}}{2 \times 24 \text{ m}^2} = 18 \frac{\text{m}}{\text{dia}} = 0,02 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Dónde:

Al: área de sedimentación acelerada

Vo: velocidad promedio del flujo a través del sedimentador

Q: caudal de diseño

Carga superficial del sedimentador con seditubos

$$S_c = \frac{11}{8} = 1,375$$

Ecuación 3-32

$$C_s = \frac{S_c \times V_o}{\text{sen } \theta + L \cos \theta}$$

$$C_s = \frac{1,375 \times 18 \text{ m}/\text{dia}}{\text{sen } 60 + 12,5 \cos 60} = 3,47 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ dia}}$$

$$C_s = 3,47 < C_{sa} = 13,21$$

Dónde:

Csa: carga superficial actual del sedimentador

Cs: carga superficial equivalente después de instalados los módulos

Vo: velocidad promedio del flujo a través del sedimentador

L: longitud relativa

Sc: S crítico para el tipo de sedimentador

θ : ángulo de inclinación de los seditubos

Número de reynolds

Ecuación 3-33

$$Nre = \frac{Vox e}{\nu}$$

$$Nre = \frac{0,02 \frac{cm}{s} \times 8 cm}{1,307 \times 10^{-2} \frac{cm^2}{s}} = 12$$

$$Nre = 12 < 500$$

Ecuación 3-34

$$trt = \frac{l}{Vo}$$

$$trt = \frac{100 cm}{0,02 cm/s} = 5000 s = 83 min$$

Dónde:

Nre: número de Reynolds

Vo: velocidad promedio del flujo a través del sedimentador

l: altura del módulo de seditubos

e: ancho del seditubo

ν : viscosidad cinemática

trt: tiempo de retención

Área hidráulica del seditubo

Ecuación 3-35

$$Ah = e^2$$

$$Ah = (0,08 \text{ m})^2 = 6,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Dónde:

Ah: área hidráulica del seditubo

e: ancho del seditubo

Número de seditubos necesarios para la zona de sedimentación

Ecuación 3-36

$$N = \frac{Al}{Ah}$$

$$N = \frac{24 \text{ m}^2}{6,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 3750$$

Dónde:

Al: área de sedimentación acelerada

N: número de seditubos necesarios para la zona de sedimentación

Ah: área hidráulica del seditubo

Área del módulo de seditubos

Ecuación 3-37

$$Am = lm \times am$$

$$Am = 2,46 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} = 1,968 \text{ m}^2$$

Dónde:

Am: área del módulo de seditubos

lm: largo del módulo de seditubos

am: ancho del módulo de seditubos

Número de tubos por módulo

Ecuación 3-38

$$n = \frac{Am}{Ah}$$
$$n = \frac{1,968 \text{ m}^2}{6,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 307,5$$

Dónde:

Am: área del módulo de seditubos

Ah: área hidráulica del seditubo

n: número de tubos por modulo

Número de módulos

Ecuación 3-39

$$m = \frac{N}{n}$$
$$m = \frac{3750}{307,5} = 12,19 \sim 12 \text{ módulos}$$

Dónde:

m: número de módulos

N: número de seditubos necesarios para la zona de sedimentación

n: número de tubos por módulo

3.2 RESULTADOS

3.2.1 CARACTERIZACIÓN FINAL DEL AGUA TRATADA

Tabla 29 Resultados de la caracterización final del agua tratada

1. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO				
PARÁMETROS	unidades	NORMA INEN- agua potable Límite máximo permisible	AGUA CRUDA	AGUA TRATADA
			C001	C004
pH		6,5-8,5	7,29	7,62
Color real	U. Pt-Co	15	80	5
Turbiedad	NTU	5	10,4	2,4
Conductividad	μS/cm	750	153	157,8
Solidos totales disueltos	mg/L	1000	75	77,3
Alcalinidad total	mg/L		60	59
Hierro total	mg/L	0,3	0,68	0,23
Manganeso	mg/L	0,4	0,03	0,01
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	1,0	0,14	0,0
Nitratos	mg/L	50	0,5	0,4
Nitritos	mg/L	0,2	0,008	0,019
Sulfatos	mg/L	200	33	37
Flúor	mg/L	1,5	0,39	0,0
Fosfatos	mg/L	0,1	0,56	0,008
Aluminio	mg/L	0,25	0,254	0,003
Cloro total	mg/L	0,3-1,5	-	1,06
2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO				
Coliformes totales	UFC/ 100 mL	< 2	66	0
Coliformes fecales	UFC/ 100 mL	< 2	11	0

FUENTE: Laboratorio de control de calidad de la planta de tratamiento de agua potable del cantón Cevallos

3.2.2 DETERMINACIÓN FINAL DEL RENDIMIENTO DE LA PLANTA

Tabla 30 Resultados del rendimiento de la planta

N	PUNTOS DE MUESTREO	TURBIEDAD NTU	% RENDIMIENTO
1	Captación	44	0
2	Prefiltros	43,5	1,14
3	Tanque elevado	43,2	1,82
4	Tanque mezclador coagulante	42,2	4,09
5	Canal al floculador	44,4	0
6	Sedimentador 1	25,3	42,5
7	Sedimentador 2	14,7	66,59
8	Entrada al filtro 1	10,4	76,36
9	Entrada al filtro 2	9,7	77,95
10	Entrada al filtro 3	10,2	76,82
11	Salida filtros	3	93,18
12	Agua regional	2,2	95
13	Agua tratada	2,7	93,86

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

3.2.3 PRECLORACIÓN

Tabla 31 Resultados de Precloración

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Dosis óptima de cloro	d	0,3	ppm
Volumen del tanque de cloración	V	100	L
Porcentaje de cloro en el hipoclorito de calcio	P	70	%
Consumo de hipoclorito de calcio	C	0,81	lb/ día
Tiempo de consumo del hipoclorito de calcio	Ta	1	día
Caudal de dosificación de cloro	Qh	1,16	mL/s

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

3.2.4 MEZCLA RÁPIDA CON VERTEDEROS RECTANGULARES

Tabla 32 Resultados de Mezclador Rápido

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Ancho del vertedero	B	0,30	m
Altura del vertedero	P	0,90	m
Caudal específico	q	0,033	m^2/s
Altura crítica de flujo	hc	0,048	m
Altura del agua en la sección 1	h_1	0,012	m
Velocidad en la sección 1	v_1	2,75	m/s
Número de Froude en la sección 1	F_1	8,02	
Altura del agua en la sección 2	h_2	0,13	m
Velocidad en la sección 2	v_2	0,254	m/s
Pérdida de carga en el resalto	h	0,263	m
Longitud del resalto	L_j	0,708	m
Velocidad media en el resalto	v_m	1,502	m/s
Tiempo de mezcla	t_m	0,471	s
Gradiente de velocidad	G	2046,71	s^{-1}

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

3.2.5 DOSIFICACIÓN DEL COAGULANTE

Tabla 33 Resultados de la prueba de jarras

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Producto químico: Policloruro de aluminio	PAC 001		
Concentración de la solución de trabajo	Ct	1	%
Densidad PAC	ρ	1,33	g/mL
Volumen de la solución de trabajo	Vt	500	mL
Volumen de PAC puro a 500 mL de sol.	Vs	3,76	mL

Tiempo de mezcla rápida, 100 rpm		1	min
Tiempo de mezcla lenta, 40 rpm		15	min
Volumen de las jarras	V _j	2000	mL
Tiempo de reposo		15	min

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

Tomar un volumen de 3,76 mL de PAC puro y diluir a un volumen de 500 mL.

Tabla 34 Resultados de la dosis de coagulante a añadir en cada jarra de 2 Litros

Dosis de solución al 1% (mL)	Dosis de coagulante ppm
1	5
2	10
3	15
4	20
5	25
6	30
7	35
8	40
9	45

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

Tabla 35 Resultados de la dosis óptima de coagulante para la planta de tratamiento de agua potable del cantón Cevallos

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Turbidez inicial		24,3	NTU
Concentración para la dosificación	Cd	1	%
Volumen del tanque de almacenamiento PAC al 1 %	V	1000	L
Volumen del recipiente pequeño a llenar con PAC 1%	V2	50	mL

Dosis óptima de coagulante según la prueba de jarras	D	25	ppm
Caudal de tratamiento de la planta convencional	Q	10	L/s
Volumen de PAC puro	V1	7,52	L
Consumo de PAC al día en peso	W	21,6	Kg/día
Consumo de PAC puro al día	Vp	16240,6	mL/día
Tiempo teórico necesario para llenar del PAC al 1% un V2	tt	2,66	s
Masa de PAC puro	w	13300	g
Factor de simplificación	f	0,0045	sm ³ /min g
Caudal óptimo de coagulante para la planta de tratamiento	Qp	1,125	L/min
Tiempo experimental necesario para llenar del PAC al 1% un V2	te	2,66	s
Tiempo de consumo del PAC	Tp	1	día

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

Además para la dosificación se requiere de una bomba dosificadora de pulsaciones con las siguientes características:

Tabla 36 Especificaciones de la bomba dosificadora

BOMBA DOSIFICADORA IWAKI EZB31D1-VC	
MARCA:	IWAKI / USA
MODELO:	EZB31D1-VC
CAUDAL MÁXIMO:	3.2 GPH (0.053 GPM) @ 360 PULSOS
PRESIÓN:	30 PSI MAX.
SUCCIÓN Y DESCARGA:	1/2"
CUERPO/SELLOS:	PVC/FKM
DIAFRAGMA:	PTFE (teflón) con respaldo de EPDM
MÁXIMA SALIDA POR STOKE:	0.26 ml
POTENCIA:	20 WATT (115-VAC) 1F / 60Hz

FUENTE: Proforma proporcionada por QUIMICALZEN

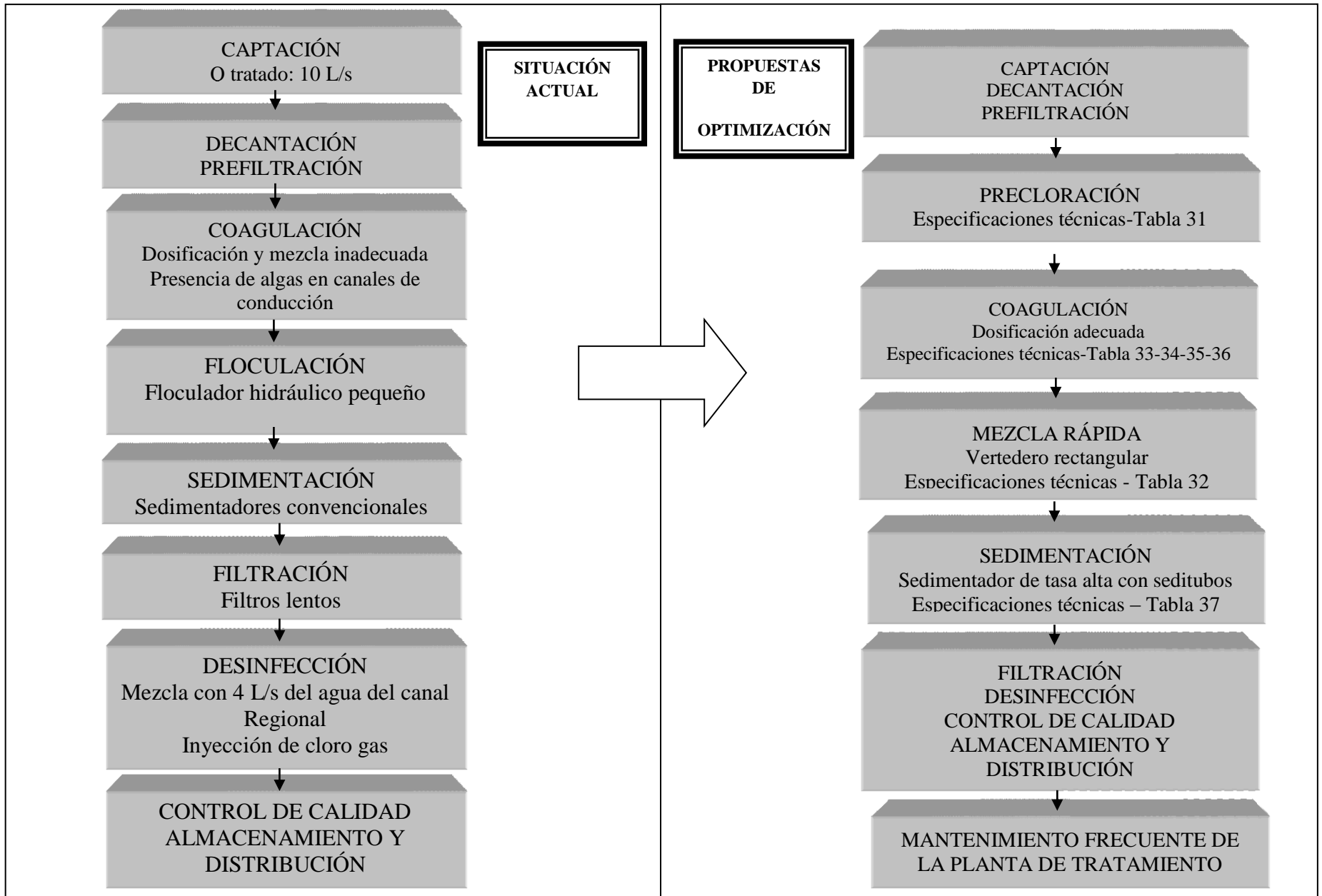
3.2.6 REDISEÑO DEL SEDIMENTADOR

Tabla 37 Resultados del rediseño del sedimentador convencional

PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Largo del sedimentador	Ls	10,9	m
Ancho del sedimentador	as	3	m
Largo de la zona de sedimentación	la	8	m
Número de sedimentadores	ns	2	
Caudal de diseño	Q	10	L/s
Área del sedimentador	A	65,4	m ²
Carga superficial actual del sedimentador	Csa	13,21	m ³ /m ² dia
SEDITUBOS			
Material de los módulos de seditubos, (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)	ABS		
Espesor de las laminas	ee	1	mm
Ángulo de los tubos	θ	60	Grados
Tamaño de los tubos cuadrados	e	8 x 8	cm
Ancho del módulo	am	80	cm
Largo del módulo	lm	246	cm
Altura del módulo	l	100	cm
Longitud relativa	L	12,25	
Área de sedimentación acelerada	Al	24	m ²
Constante S crítico para el tipo de sedimentador	Sc	11/8	
Velocidad promedio del flujo a través del sedimentador	Vo	0,02	cm/s
Carga superficial del sedimentador con seditubos	Cs	3,47	m ³ /m ² dia
Número de Reynolds	Nre	12	
Tiempo de retención	trt	83	min
Área hidráulica del seditubo	Ah	6,4x10 ⁻³	m ²
Número de seditubos necesarios para la zona de sedimentación	N	3750	unidades
Número de tubos por módulo	n	307,5	unidades
Número de módulos	m	12	unidades

FUENTE: GUANANGA, Ana, C. 2013

3.3 PROPUESTA



3.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Mediante la caracterización físico-química y microbiológica del agua tratada, se determinó que todos los parámetros cumplen con los requisitos de la Norma NTE INEN 1 108:2011, Cuarta revisión, por otro lado haciendo referencia a la Norma NTE INEN 1 108: 2006, segunda revisión los fosfatos excede los límites permisibles, sin embargo dichos requerimientos se pueden cumplir con una dosis adecuada de coagulante químico, lo cual se consigue con un estudio profundo del agua a tratar, conociendo la dosis adecuada de coagulante químico según la prueba de jarras, realizada diariamente, y conociendo el caudal exacto de tratamiento en la planta, se puede comprobar la dosis adecuada mediante una prueba de aforo.

Se recomienda una precloración con hipoclorito de calcio al 70 %, para que ayude en el proceso de floculación, debido a la existencia de un floculador hidráulico muy pequeño que no cumple con las expectativas de la planta de tratamiento, y en la eliminación de algas existentes en los canales de conducción. La dosis adecuada de hipoclorito de calcio, necesario para la planta de tratamiento se comprueba fácilmente con una prueba de aforo.

Así mismo se puede ayudar a la formación de un buen floc teniendo una adecuada mezcla de coagulante químico y de hipoclorito de calcio, para lo cual es necesario una mezcla rápida por medio de un vertedero rectangular.

Una vez fortalecida los procesos de coagulación floculación, el agua estará en mejores condiciones para pasar a la siguiente etapa.

Se cuenta con un sedimentador convencional, en donde se analizó y determino que es viable la implementación de módulos de seditubos, así se tendrá mejores resultados en la remoción del floc formado aumentando el rendimiento de esta unidad e influyendo significativamente en el rendimiento de toda la planta.

Tomando en consideración lo anteriormente expuesto se logra un aumento importante en el rendimiento de la planta, facilitando el proceso de potabilización, listo para abastecer a toda la población del cantón Cevallos y preparándose para el futuro.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización después del tratamiento actual, analizando 18 parámetros, de los cuales los fosfatos no cumplen con la norma AGUA POTABLE. REQUISITOS. NTE INEN 1 108:2006, siendo 0,35 (máx. permisible 0,1 mg/L).
- Con la dosificación de coagulante químico determinada técnicamente todos los parámetros analizados en el agua tratada cumplen con los requisitos de la norma correspondiente.
- Un vertedero rectangular contribuirá a la adecuada mezcla del coagulante químico que junto con una precloración favorecerán la formación del flóc, mejorando el proceso y eliminación de las algas presentes en los canales de conducción.
- Los sedimentadores convencionales actuales al transformarse en sedimentadores con módulos de seditubos aumentarán significativamente el rendimiento de estas unidades y de toda la planta de tratamiento, obteniendo mejores resultados en el agua tratada y en menor tiempo.

4.2 RECOMENDACIONES

Al finalizar este estudio se recomienda:

- Aplicar el estudio realizado para optimizar la planta de tratamiento de agua potable del cantón Cevallos modificando e implementando unidades para mejorar el abastecimiento a la población.
- Realizar diariamente la prueba de jarras, prueba de aforo y análisis físicos químicos y microbiológicos para el control de calidad del agua tratada en la planta de tratamiento y obtener una base de datos que nos permita facilitar el proceso.
- Efectuar un mantenimiento y limpieza frecuente de toda la planta de tratamiento de agua potable, desinfectando con cloro para eliminar cualquier agente patógeno.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ARBOLEDA, J.**, Teoría y Práctica de la Purificación del Agua., 3a.ed., Bogotá-Colombia., Editorial Mc. Graw Hill., 2000., Pp. 205-234.

2. **CORCHO, F.**, Acueductos: Teoría y Diseño., 3a.ed., Medellín-Colombia., Editorial Universidad de Medellín., 2005., Pp 181-210.

3. **HERNÁNDEZ, A.**, Calidad y Tratamiento del Agua., 5a.ed. México-México., Editorial Mc. Graw-Hill., 2002., Pp. 325-328.

4. **KEMMER, F.**, Manual del Agua: su naturaleza tratamiento y aplicaciones., Tomo 3., México-México., Editorial Mc Graw-Hill., 1990., Pp 84.

5. **ROJAS R.**, Guía para la vigilancia de la calidad del agua para su consumo humano., 1a.ed., México-México., Editorial CEPIS., 2002., Pp. 54-55.

6. **ROMERO, J.**, Calidad del agua., 3a.ed., Bogotá-Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2009., Pp. 273-302.

7. **ROMERO, J.**, Purificación del agua., 3a.ed., Bogotá-Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2002., Pp. 29-50.

8. **ECUADOR, INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).**, Requisitos para el agua de Potable., 4a.ed., Ecuador– Quito., INEN 1108:2011., Pp. 1-5.

INTERNET

1. AGUA POTABLE

- http://mimosa.pntic.mec.es/vgarci14/agua_potable.htm
(2013-07-23)

2. PROCESOS DE POTABILIZACIÓN

- <http://neetescuela.com/proceso-de-potabilizacion-del-agua/>
(2013-08-01)

3. SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

- <http://www.slideshare.net/lucasburchard/plantas-tratamiento-agua-potable>

(2013-08-03)

4. DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS ÓPTIMAS DEL COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B EN FUNCIÓN DE LA TURBIEDAD Y EL COLOR PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE VILLA SANTANA

- <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoanexos/6281622H565.pdf>

(2013-08-13)

5. TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN

- <http://www.frm.utn.edu.ar/archivos/civil/Sanitaria/Coagulaci%C3%B3ny%20Floculaci%C3%B3ndel%20Agua%20Potable.pdf>

(2013-08-18)

6. TEORÍA, DISEÑO Y CONTROL DE LOS PROCESOS DE CLARIFICACIÓN DEL AGUA

- <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320-05c.pdf>
(2013-08-24)

7. MEZCLADORES

- <http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual2/ma2cap2.pdf>
(2013-09-13)

8. GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES

- <http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guialcalde/>
(2013-10-02)

9. PROYECTO DE PLANTA POTABILIZADORA PARA AGUA POTABLE EN CIUDAD DE VELHA. CABO VERDE.

- <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCQQFjAA&url=http%3A%2F%2Frepositorio.bib.upct.es>
(2013-10-16)

ANEXOS

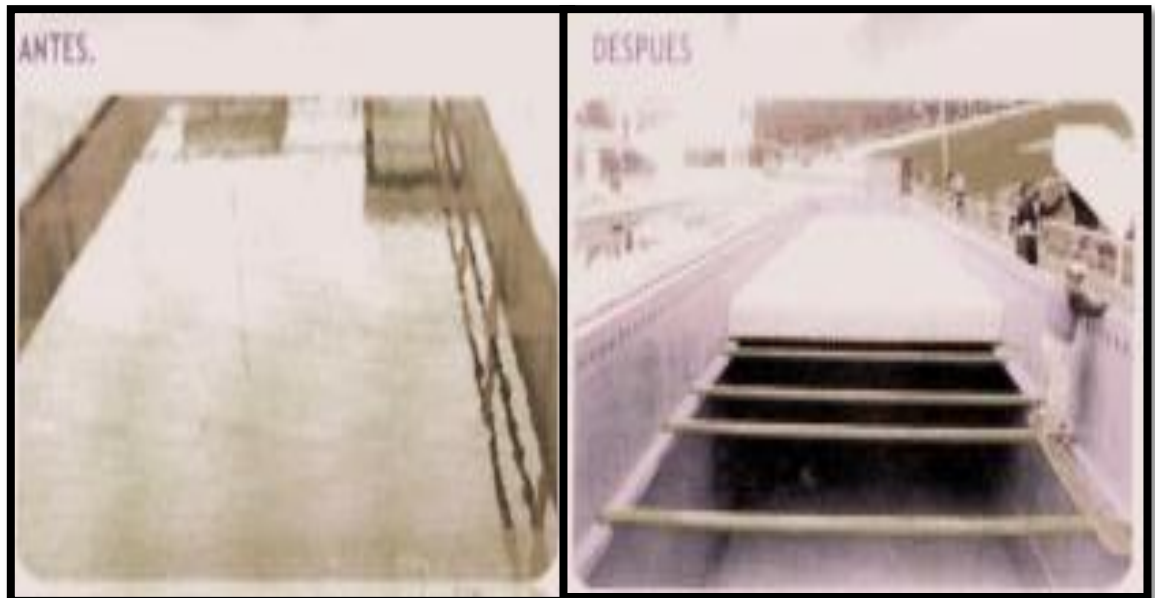
**ANEXO 1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE DEL CANTÓN CEVALLOS**

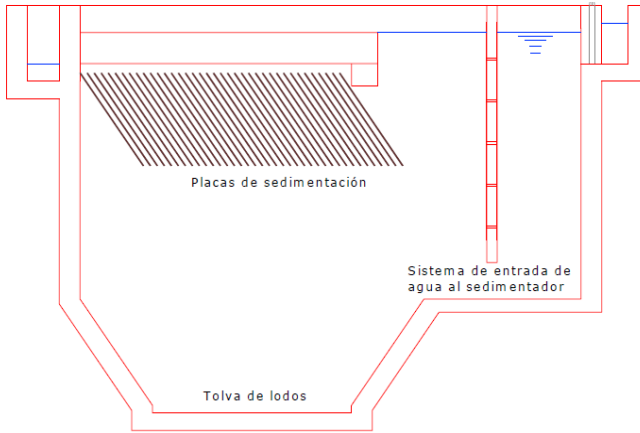


ANEXO 2 DOSIFICACIÓN DE COAGULANTES QUÍMICOS



ANEXO 3 REDISEÑO DEL SEDIMENTADOR ACTUAL






ANEXO 4 PRESUPUESTO ECONÓMICO

DOSIFICACIÓN		
CANT	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL (DÓLARES)
1	Bomba dosificadora IWAKI EZB31D1-VC	700
2	Mano de Obra	180
1	Caudalímetro	950
MEZCLA RÁPIDA		
2	Mano de Obra	180
	Cemento (quintales)	27
2	Palas	20
	Ripio y arena	20
	Varillas	50
PRECLORACIÓN		
1	Tanque de almacenamiento 100 L	170
5 m	Tubería PVC SAP presión para agua C-10 R. 1/2"	20
20 Kg	Hipoclorito de calcio al 70 %	112
SEDIMENTADOR DE TASA ALTA CON SEDITUBOS		
2	Mano de obra	360
12	Módulos de seditubos	21120
OTROS		311
TOTAL		24220

ANEXO 5 INSTRUCTIVOS TÉCNICOS OPERATIVOS

 <p>GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN CEVALLOS</p>	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN CEVALLOS	FECHA: 31-10-2013
	INSTRUCTIVO TÉCNICO OPERATIVO PARA DOSIFICAR ADECUADAMENTE EL COAGULANTE QUÍMICO PAC 001 ITO-PTAC-01	VERSIÓN: 01
		Página 1 de 1

OBJETIVO


Conseguir la concentración adecuada del coagulante floculante para una correcta dosificación.

ALCANCE

Este procedimiento se aplicará en la planta de tratamiento de agua potable del cantón Cevallos mientras se utilice Policloruro de aluminio PAC 001 como coagulante floculante.

DETALLE DE ACTIVIDADES

1. Coger una muestra de agua cruda en el canal de entrada a la planta para medir turbiedad y color.
2. Tomar agua cruda para realizar la prueba de jarras y determinar la dosis óptima.
3. Descargar la cantidad de PAC 001 al 1% hasta que alcance un nivel determinado por el laboratorista y abrir la válvula del ingreso de agua hasta completar los 1000 L.
4. Agitar la solución por 60 minutos.
5. Con estos datos y con ayuda de una jarra aforada, medir el tiempo que se demora en llenar 50 ml de solución de PAC 001 al 1 %.

 <p>GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN CEVALLOS</p>	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN CEVALLOS	FECHA: 31-10-2013
	INSTRUCTIVO TÉCNICO OPERATIVO PARA PRECLORACIÓN ITO-PTAC-02	VERSIÓN: 01
		Página 1 de 1

OBJETIVO


Describir la forma de ejecutar la pre cloración.

ALCANCE

Este procedimiento se aplicará en la plantas de tratamiento que tengan la necesidad de hacer la pre cloración.

DETALLE DE ACTIVIDADES

1. A la entrada de los floculadores hidráulicos, se ubicara un tanque de 100 litros en donde se prepara la solución del cloro a 0,3 ppm de la siguiente manera:
2. Tomar de la bodega que se encuentra en la parte baja del laboratorio 0,81 lb de hipoclorito de calcio al 70%.
3. Diluir esto en el tanque y llenar con agua.
4. Agitar manualmente y luego proceder a la dosificación de acuerdo a lo establecido por el laboratorista.
5. Con ayuda de una jarra aforada, medir el tiempo que se demora en llenar 50 ml de solución de hipoclorito de calcio al 70%.

 <p>GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN CEVALLOS</p>	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN CEVALLOS	FECHA: 31-10-2013
	INSTRUCTIVO TÉCNICO OPERATIVO DE LIMPIEZA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO ITO-PTAC-03	VERSIÓN: 01
		Página 1 de 3

OBJETIVO

Describir detalladamente la forma de ejecutar la limpieza de la planta de tratamiento de agua potable.

ALCANCE

Este procedimiento se aplicará para las unidades de la planta de tratamiento.

DETALLE DE ACTIVIDADES

LIMPIEZA GENERAL DE LAS UNIDADES Y DE LOS CANALES DE CONDUCCIÓN


Cada una de estas etapas luego de su limpieza son desinfectadas con Cloro en una mezcla del 50 % para eliminar cualquier agente patógeno.

LAVADO DE DECANTADORES

1. Abrir la compuerta de desagüe para eliminar todo el material.
2. Cerrar la compuerta de ingreso de agua cruda de la captación a la unidad.
3. Cepillar las paredes y desinfectar con cloro de ser necesario.
4. Cerrar la compuerta del desagüe.
5. Abrir la compuerta de ingreso de agua cruda al decantador para continuar el proceso.
6. Su limpieza será cada 60 días.

LAVADO DE PREFILTROS

1. Abrir la compuerta de desagüe para eliminar todo el lodo.

 <p>GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN CEVALLOS</p>	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN CEVALLOS	FECHA: 31-10-2013
	INSTRUCTIVO TÉCNICO OPERATIVO DE LIMPIEZA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO ITO-PTAC-03	VERSIÓN: 01
		Página 2 de 3


2. Cerrar la compuerta de ingreso de agua cruda de la captación a la unidad.
3. Cepillar las paredes
4. Cerrar la compuerta del desagüe.
5. Abrir la compuerta de ingreso de agua cruda para continuar el proceso.
6. Su limpieza será cada 30 días.

LAVADO DEL FLOCULADOR HIDRÁULICO.

1. Suspender el ingreso de agua cruda al floculador.
2. Abrir las válvulas de desagüe para bajar el nivel de agua.
3. Lavar paredes y tableros de los canales.
4. Desinfectar con una solución de cloro.
5. Cerrar la válvula de desagüe.
6. Ingresar el agua cruda a floculador.
7. Poner en marcha la planta.
8. Su limpieza será cada 60 días.

LAVADO DE SEDIMENTADORES

1. Cerrar completamente la compuerta de ingreso de agua floculada al sedimentador a lavar.
2. Abrir la válvula de desagüe del sedimentador que se va lavar.
3. Esperar que se evacue el agua
4. Remover todo el lodo retenido con la ayuda de mangueras y cepillos.
5. Desinfectar paredes y tableros de la unidad con una solución de hipoclorito de calcio.
6. Su limpieza será cada 60 días.

 <p>GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN CEVALLOS</p>	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN CEVALLOS	FECHA: 31-10-2013
	INSTRUCTIVO TÉCNICO OPERATIVO DE LIMPIEZA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO ITO-PTAC-03	VERSIÓN: 01
		Página 3 de 3

Puesta en marcha de sedimentadores:

1. Cerrar la válvula de desagüe del sedimentador lavado.
2. Abrir la compuerta de entrada del agua floculada, con un caudal igual al del diseño.
3. Llenar de agua la unidad de sedimentación hasta el nivel de operación.
4. Suspender la entrada de agua floculada, durante 15 minutos antes de poner en operación sedimentador.
5. Abrir gradualmente la compuerta de ingreso de agua floculada al sedimentador.

LAVADO DE FILTROS

1. Cerrar la compuerta de agua sedimentada al filtro.
2. Esperar que se evacue toda el agua del filtro.
3. Se retira un capa de unos 20 centímetros de arena colmatada para luego realizar un lavado de esta arena.
4. En el entretiempo del lavado mangerear paredes y canales y desinfectar con cloro.
5. Su limpieza será cada 15 días.

ANEXO 6 PLANO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEL CANTÓN CEVALLOS

