



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE
LA PLANTA “SAN LORENZO” DEL CANTÓN CHIMBO”**

TESIS DE GRADO

**Previo a la obtención del Título de:
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:
ITAYA ESTEFANÍA PESANTES TORRES**

RIOBAMBA – ECUADOR

Noviembre 2013

"Siembra un acto y cosecharás un hábito. Siembra un hábito y cosecharás un carácter. Siembra un carácter y cosecharás un destino." Charles Reade.

Es normal sentir una emoción ante un logro obtenido, y aún más verse recompensado con un mérito; todo esto no sería posible sin la colaboración de personas e instituciones que aportaron en mi crecimiento académico. Agradezco en primer lugar a mis padres, que son mi apoyo incondicional y por hacer posible el estar estudiando en este prestigioso centro de educación superior, como lo es la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

A todo el personal docente y administrativo de la Escuela de Ingeniería Química, y en especial al Ingeniero Mario Villacrés y al Ingeniero Marco Chuiza, que con esfuerzo sacrificio y entrega nos guían por el camino del aprendizaje. Además de hacer partícipe de este agradecimiento al Ingeniero Raúl Allan y la Ingeniera Carlita Santillán por todo el apoyo y colaboración que han demostrado hacia mi persona..

Finalmente, a mis amigos que han compartido mis logros, derrotas, alegrías y mis penas, pero ante todo han sabido aconsejarme y darme su respaldo y apoyo en el camino hacia la culminación de mi carrera.

Siempre tendré presente a mis padres, porque ellos me formaron con criterio y carácter, que es parte fundamental para haberme encaminado hacia la obtención de una de mis metas; es por eso que se lo dedico a ellos. También a mis hermanos, mi abuelito; no solo este trabajo que es parte del proceso de culminación de mi carrera, sino también mis logros obtenidos y por obtener.

A toda mi familia, amigos gente que conocí en el camino de mi vida personal y estudiantil, que con su experiencia y sabiduría supieron guiarme por el camino correcto; muchas de las veces no fue necesario una charla extensa, sino una simple frase, un simple acto, una simple seña, o una simple mirada hacia sus vidas. A la persona que ahora forma parte de mi vida, que ha sido testigo de mis esfuerzos, y confidente de mis sueños, ambiciones e ideales.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Silvio Álvarez
**DECANO DE LA
FACULTAD DE CIENCIAS**

.....

.....

Ing. Mario Villacrés
**DIRECTOR DE LA ESCUELA
DE INGENIERÍA QUÍMICA**

.....

.....

Ing. Mario Villacrés
DIRECTOR DE TESIS

.....

.....

Ing. Marco Chuiza
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

.....

Tec. Carlos Rodríguez
**DIRECTOR DEL CENTRO
DE DOCUMENTACIÓN**

.....

.....

NOTA DE TESIS

.....

“Yo, ITAYA ESTEFANÍA PESANTES TORRES, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

Itaya Pesantes Torres.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Área superficial
C	Concentración de cloro
Cl^-	Cloruros
CS	Carga superficial
d	Separación entre placas
D	Diámetro
e	Espesor de la placa
E	Eficiencia
g	Gravedad
H	Altura con respecto al agua
HTH	Hipoclorito de Calcio
l	Longitud de las placas
L	Longitud relativa.
L_c	Longitud relativa efectiva de sedimentación en flujo laminar, corregida en la longitud de transición.
L_s	Longitud del sedimentador (distancia que ocuparan las placas)
L'	Longitud relativa para la región de transición de las placas.
N	Número de placas necesarias
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbidez
N_o	Turbiedad de entrada
N_{RE}	Número de Reynolds
N_t	Turbiedad de salida
PAC	Policloruro de Aluminio
P.T	Planta de tratamiento
Q	Caudal
rpm	Revoluciones por minuto
S	Eficiencia del Sedimentador

t	Tiempo de retención en la placas
T	Tiempo de retención en el tanque
ν	Viscosidad cinética de agua
v_0	Velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación
v_{sc}	Velocidad crítica de asentamiento
V	Volumen del tanque de sedimentación
β	Ángulo que se forma en el vertedero
θ	Ángulo que forma la placa con la horizontal.
ρ	Densidad

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
HOJA DE FIRMAS	IV
HOJA DE RESPONSABILIDAD	V
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	VI
TABLA DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XV
ÍNDICE DE CUADROS	XVII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XVIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIX
RESUMEN	XX
SUMMARY	XXI
INTRODUCCIÓN	XXII
ANTECEDENTES	XXIII
JUSTIFICACIÓN	XXV
OBJETIVOS	XXVI

CAPÍTULO I	- 1 -
1 MARCO TEÓRICO	- 1 -
1.1 AGUA POTABLE.....	- 1 -
1.2 CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA	- 1 -
1.2.1 CALIDAD ESTÉTICA.....	- 3 -
1.3 FUENTES DE AGUA	- 3 -
1.3.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS	- 3 -
1.3.2 AGUAS SUPERFICIALES.....	- 4 -
1.4 ANÁLISIS FÍSICO DEL AGUA	- 5 -
1.4.1 TURBIDEZ.....	- 5 -
1.4.2 COLOR	- 6 -
1.4.3 OLOR Y SABOR	- 7 -
1.4.4 TEMPERATURA	- 8 -
1.4.5 SÓLIDOS.....	- 9 -
1.4.5.1 Sólidos totales.....	- 9 -
1.4.5.2 Sólidos sedimentables.	- 9 -
1.4.6 CONDUCTIVIDAD	- 10 -
1.5 ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA	- 11 -
1.5.1 ALCALINIDAD	- 11 -
1.5.2 ACIDEZ.....	- 12 -
1.5.3 CLORUROS	- 13 -
1.5.4 FLUORUROS.....	- 14 -
1.5.5 HIERRO Y MANGANESO	- 15 -

1.6	ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO DEL AGUA.....	- 16 -
1.6.1	MICROBIOLOGÍA DEL AGUA.....	- 17 -
1.6.2	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.....	- 18 -
1.7	MEDIDORES DE CAUDAL.....	- 19 -
1.7.1	VERTEDERO.....	- 19 -
1.7.1.1	Ecuación general.....	- 20 -
1.7.2	CAUDAL TOTAL.....	- 22 -
1.7.3	AFORO.....	- 23 -
1.8	COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN DE LAS IMPUREZAS DEL AGUA	- 23 -
1.8.1	REMOCIÓN DE COLOR.....	- 25 -
1.8.2	COAGULANTES.....	- 26 -
1.8.2.1	Coagulantes metálicos.....	- 26 -
1.8.2.2	Química de coagulación con Al (III).....	- 27 -
1.8.2.3	Cloruro de Polialuminio.....	- 27 -
1.8.3	FLOCULADORES HIDRÁULICOS.....	- 28 -
1.8.3.1	Floculadores de tabiques.....	- 28 -
1.8.4	CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN...	- 30 -
1.8.4.1	Sistemas de simulación del proceso de coagulación.....	- 31 -
1.8.4.2	Determinación de la dosis optima de coagulante.....	- 31 -
1.9	SEDIMENTACIÓN DEL AGUA.....	- 31 -
1.9.1	SEDIMENTACIÓN LAMINAR.....	- 32 -
1.9.1.1	Criterios de Diseño.....	- 32 -
1.9.1.2	Modelo de YAO.....	- 34 -
1.9.1.3	Tiempo de retención.....	- 39 -

1.9.2	CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CLARIFICACIÓN POR SEDIMENTACIÓN.....	- 40 -
1.9.3	CONTROL DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN.....	- 41 -
1.9.4	ENSAYOS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA.....	- 42 -
1.10	FILTRACIÓN DEL AGUA	- 42 -
1.10.1	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FILTRACIÓN	- 44 -
1.11	DESINFECCIÓN.....	- 47 -
1.11.1	CLORACIÓN	- 48 -
1.12	OPTIMIZACIÓN.....	- 49 -
1.12.1	GENERALIDADES	- 50 -
1.12.2	REGULACIÓN DE CAUDALES.....	- 50 -
1.12.3	DOSIFICACIÓN DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS.....	- 51 -
1.12.4	ENSAYO DE JARRAS	- 51 -
1.12.4.1	Objetivo del ensayo de jarras	- 52 -
1.12.4.2	Como hacer el ensayo.....	- 53 -
1.12.4.3	Precauciones que se deben tener en cuenta	- 54 -
	CAPÍTULO II.....	- 56 -
2	PARTE EXPERIMENTAL	- 56 -
2.1	MUESTREO	- 56 -
2.1.1	LOCALIZACIÓN.....	- 56 -
2.1.2	RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	- 56 -
2.1.3	PLAN DE MUESTREO	- 56 -
2.2	METODOLOGÍA	- 57 -
2.2.1	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN.....	- 57 -

2.2.2	IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS	- 58 -
2.2.3	TRATAMIENTO DE MUESTRAS	- 58 -
2.2.4	MÉTODOS	- 60 -
2.2.5	AFORO	- 61 -
2.3	DATOS EXPERIMENTALES	- 62 -
2.3.1	DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA PLANTA	- 62 -
2.3.1.1	Procesos de la planta	- 62 -
2.3.2	CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	- 67 -
2.3.3	PRUEBA DE JARRAS PARA LA TURBIEDAD	- 72 -
CAPÍTULO III.....		- 73 -
3	CÁLCULOS Y RESULTADOS	- 73 -
3.1	CÁLCULOS	- 73 -
3.1.1	CAUDAL DE CAPTACIÓN.....	- 73 -
3.1.1.1	Vertedero	- 73 -
3.1.1.2	Para tuberías parcialmente llena.....	- 73 -
3.1.1.3	Caudal total.....	- 74 -
3.1.2	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PLACAS	- 75 -
3.1.2.1	Carga superficial.....	- 75 -
3.1.2.2	Área de sedimentación	- 75 -
3.1.2.3	Número de placas N	- 77 -
3.1.2.4	Carga superficial para el área de sedimentación	- 79 -
3.1.2.5	Tiempo de retención en el tanque de sedimentación.....	- 79 -
3.1.2.6	Verificación del diseño.....	- 80 -

3.1.3	EFICIENCIA DEL SEDIMENTADOR	- 81 -
3.1.4	CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DEL CLORO	- 81 -
3.1.5	CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DEL PAC	- 83 -
3.2	RESULTADOS	- 85 -
3.2.1	NÚMERO DE PLACAS EN CADA SEDIMENTADOR	- 85 -
3.2.2	DOSIFICACIÓN DE CLORO DE 1.5 PPM AL DÍA.....	- 85 -
3.2.3	DOSIFICACIÓN DE CLORO DE 0.5 PPM EN LA PER-CLORACIÓN-	86
	-	
3.2.4	DOSIFICACIÓN DE CLORO DE 1 PPM EN LA POST-CLORACIÓN	- 88 -
3.2.5	PRUEBA DE JARRAS	- 89 -
3.2.6	REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO	- 90 -
3.2.6.1	Presupuesto de implementación de placas planas	- 90 -
3.2.6.2	Costo de PAC al día	- 91 -
3.2.6.3	Propuesta de uso de PAC y su influencia en el consumo eléctrico	- 91 -
3.2.6.4	Inversión de la Empresa	- 92 -
CAPÍTULO IV		- 93 -
4	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	- 93 -
CAPÍTULO V		- 95 -
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	- 95 -
5.1	CONCLUSIONES	- 95 -
5.2	RECOMENDACIONES.....	- 97 -
CAPÍTULO VI		- 98 -
BIBLIOGRAFÍA		- 98 -
ANEXOS		- 101 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Vertedero vista lateral	- 19 -
Figura 1.2 Vertedero triangular	- 20 -
Figura 1.3 Vertedero circular.....	- 21 -
Figura 1.4 Floculadores hidráulicos de tabiques	- 29 -
Figura 1.5 Efecto de introducir placas intermedias.	- 33 -
Figura 1.6 Trayectoria de una partícula en placas paralelas inclinadas.....	- 35 -
Figura 1.7 Dimensiones entre placas.	- 39 -
Figura 1.8 Filtración	- 43 -
Figura 1.9 Influencia de la temperatura en la longitud de la carrera de filtración (según Dostal y Robeck).	- 45 -
Figura 1.10 Forma de trabajo de un filtro.....	- 46 -
Figura 1.11 Test de Jarras	- 52 -
Figura 1.12 Procedimiento de Test de Jarras	- 53 -
Figura 1.13 Procedimiento con las paletas	- 53 -
Figura 2.1 Conservación de muestras	- 58 -
Figura 2.2 Floculadores de serpentín.....	- 63 -
Figura 2.3 Sedimentadores laminares	- 64 -
Figura 2.4 Filtros de arena	- 66 -

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Valores característicos de Cd	- 21 -
Tabla 1.2 Valores de ϕ frente	- 22 -
Tabla 2.1 Datos de aforo mediante el método volumétrico	- 61 -
Tabla 2.2 Eficiencia en base a la turbidez en época de verano	- 63 -
Tabla 2.3 Eficiencia en base a la turbidez en época de invierno	- 63 -
Tabla 2.4 Eficiencia en base a la turbidez en época de verano	- 65 -
Tabla 2.5 Eficiencia en base a la turbidez en época de invierno	- 65 -
Tabla 2.6 Eficiencia en base a la turbidez en época de verano	- 66 -
Tabla 2.7 Eficiencia en base a la turbidez en época de invierno	- 66 -
Tabla 2.8 Caracterización Físico-Química del Agua en el sistema de tratamiento. Semana 1-67 -	
Tabla 2.9 Caracterización Físico-Química del Agua en el sistema de tratamiento. Semana 2-68 -	
Tabla 2.10 Caracterización Físico-Química del Agua en el sistema de tratamiento. Semana 3	- 69 -
Tabla 2.11 Caracterización Físico-Química del Agua en el sistema de tratamiento. Semana 4	- 70 -
Tabla 2.12 Caracterización Físico-Química del Agua en el sistema de tratamiento. Semana 5	- 71 -
Tabla 3.1 Número de placas planas en cada sedimentador.....	- 85 -
Tabla 3.2 Resultados de dosificación del Cloro respecto al caudal.....	- 85 -
Tabla 3.3 Resultados de dosificación del Cloro respecto al caudal.....	- 86 -
Tabla 3.4 Resultados de dosificación de Cloro respecto al caudal	- 88 -
Tabla 3.5 Prueba de jarras Turbiedad 4.62 NTU	- 89 -
Tabla 3.6 Prueba de jarras Turbiedad 14.8 NTU	- 89 -
Tabla 3.7 Prueba de jarras Turbiedad 40.7 NTU	- 89 -

Tabla 3.8 Prueba de jarras Turbiedad 113 NTU	- 90 -
Tabla 3.9	- 90 -
Tabla 3.10 Aforo de solución de PAC y costo diario	- 91 -
Tabla 3.11 Propuesta de consumo eléctrico anual para el uso de PAC	- 91 -
Tabla 3.12 Inversión de la Empresa.....	- 92 -

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.1 Formas del cloro en aguas.....	- 14 -
Cuadro 1.2 Valores de S según el tipo de módulo.....	- 36 -
Cuadro 1.3 Viscosidad cinética del agua a diferentes temperaturas.....	- 38 -
Cuadro 1.4 Diferentes modelos del proceso de clarificación por sedimentación.....	- 40 -
Cuadro 1.5 Tipos de sedimentación según el sentido del flujo en unidades de decantación de plantas de purificación de agua.....	- 41 -
Cuadro 2.1 Identificación de Muestras.....	- 57 -
Cuadro 2.2 Parámetros de caracterización del Agua Potable de Chimbo.....	- 59 -
Cuadro 2.3 Métodos de análisis.....	- 60 -
Cuadro 2.4 Métodos de análisis.....	- 61 -
Cuadro 2.7 Datos de placas en cada sedimentador.....	- 64 -

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1.....	- 21 -
Ecuación 1.2.....	- 22 -
Ecuación 1.3.....	- 23 -
Ecuación 1.4.....	- 29 -
Ecuación 1.5.....	- 33 -
Ecuación 1.6.....	- 34 -
Ecuación 1.7.....	- 35 -
Ecuación 1.8.....	- 36 -
Ecuación 1.9.....	- 37 -
Ecuación 1.10.....	- 37 -
Ecuación 1.11.....	- 37 -
Ecuación 1.12.....	- 38 -
Ecuación 1.13.....	- 39 -
Ecuación 1.14.....	- 39 -
Ecuación 1.15.....	- 40 -
Ecuación 1.16.....	- 42 -
Ecuación 1.17.....	- 43 -
Ecuación 1.18.....	- 49 -
Ecuación 3.1.....	- 84 -

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I	- 101 -
ANEXO II	- 102 -
ANEXO III	- 103 -
ANEXO IV	- 104 -
ANEXO V	- 105 -
ANEXO VI	- 106 -
ANEXO VII	- 107 -
ANEXO VIII	- 108 -
ANEXO IX	- 109 -

RESUMEN

En la presente investigación se realizó la optimización del sistema de tratamiento de la planta de agua potable “San Lorenzo” del cantón Chimbo, ubicada en la provincia de Bolívar.

El método experimental y la técnica de análisis fueron empleadas en este trabajo de investigación, realizando caracterizaciones del proceso, y pruebas de dosificación del Policloruro de Aluminio; se efectuó en el laboratorio de control de calidad de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “Chaquishca”, donde nos permitieron utilizar los equipos para la determinación de parámetros requeridos y el Test de Jarras.

Los resultado que obtuvimos en pruebas realizadas y los cálculos de ingeniería, determinaron que el aforo correcto del Cloro durante 12 horas de funcionamiento, para un caudal de 33.18L/s, es 40.85ml/min; en el caso del Policloruro de Alumnio, dependiendo de la turbiedad del agua, se hace el correspondiente aforo para concentraciones de: 10ppm, 29.03ml/min; 15ppm, 21.77ml/min; 20ppm, 29.03ml/min; 25ppm, 36.29ml/min. Existen dos sedimentadores, donde entran dos filas de placas en cada uno; se calcularon 65 placas inclinadas a 60°, de 1.22m de longitud, 2.35m de ancho y 0.01m de espesor, para cada fila, en total se tendrán 260 placas planas de sedimentación.

Concluimos para el buen funcionamiento del sistema se debe implementar el estudio realizado para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de agua potable, brindando un servicio de calidad al cantón Chimbo.

Recomendamos el uso del Policloruro de Aluminio cuando la turbiedad del agua sobrepase los 4 NTU (Unidad Nefelométrica de Turbiedad); esto reducirá costos, no afectará la calidad estética y la parte de salubridad del agua.

SUMMARY

The present investigation was conducted to optimize the treatment system of the drinkable water plant "San Lorenzo" canton Chimbo, located in the province of Bolivar.

The experimental method and analysis technique were employed in this research work, making characterizations of the process, and dosing test of the Aluminum Polyvinyl; it was undertaken in the laboratory of quality control of the Treatment Plant of Water "Chaquishca", where we were allowed to use the equipment for the determination of parameters required and the Jars Test.

The results we obtained in test made and the engineering calculations, determine that the correct capacity of chlorine for 12hours of operation for a flow rate 33.18 L/s., is 40.85 ml/min., 20 ppm., 29.03 ml/min.; 25 ppm., 36.29 ml/min. It exist two settlers, where they come in two rows of plates each; were calculated 65 plates inclined 60°, 1.22 m. long , 2.35 m. wide and 0.01 m. thick, for each row, we will have sedimentation flat plates.

We concluded that for the proper operation of the system this study should be implemented to improve efficiency of the treatment system of drinkable water, providing a quality service to Chimbo canton.

We recommended using Aluminum Polyvinyl when water turbidity exceed 4 NTU (Nephelometric Turbidity Unit), this will reduce costs, will not affect the aesthetic quality and the water sanitation.

INTRODUCCIÓN

Entre el grupo de necesidades que debe satisfacer el hombre, el uso y consumo de agua es uno de los más importantes tanto para la salud humana como para el bienestar de la comunidad. El aprovisionamiento de agua debe ser seguro y satisfactorio para las necesidades de uso doméstico, comercial e industrial.

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Chimbo (EMAPA-CH), ubicada en el cantón Chimbo, la misma que tiene su planta de tratamiento en la parroquia San Lorenzo, permitió que se realizara esta investigación.

La necesidad de identificar los problemas de continuidad en la prestación del servicio de agua potable a los habitantes del cantón Chimbo, centra el interés en buscar mediante una observación externa, las falencias que estén ocasionando que se preste servicio de agua de forma regular. El cumplimiento de la vida útil de las unidades destinadas para el tratamiento, el estado físico de equipos e instalaciones, son algunas de las razones que forzan a generar soluciones de aplicación que permitan satisfacer la demanda de líquido a futuro, y corregir los problemas actuales como la presencia de turbiedad y color con valores que varían de acuerdo a las condiciones del clima.

El desarrollo de la investigación empezó con una vista previa, donde se detectó la deficiencia en equipos y operaciones como es la sedimentación; posterior se realizó mediciones de caudal y caracterizaciones del agua cuyos resultados muestran variaciones en la turbiedad. Una vez realizado la prueba de jarras y los cálculos de ingeniería se determinó la dosificación adecuada del coagulante, y las mediciones correctas para la implementación adecuada de placas en el sedimentador; de esta manera se optimizará el sistema de la planta de tratamiento “San Lorenzo”, ya que se debe pensar en dar el mejor manejo a la planta y pasar a realizar los procesos de forma más técnica, controlada, y cumpliendo con los requisitos que establece la norma NTE INEN 1 108:2006.

ANTECEDENTES

El Cantón de Chimbo, se encuentra situado en la Provincia de Bolívar, ubicada en la cordillera occidental de los Andes, en el Ecuador. El Cantón fue creado el 3 de Marzo de 1860, la cabecera cantonal es la ciudad de San José de Chimbo.

El cantón Chimbo cuenta con las parroquias rurales: San Sebastián, La Asunción, La Magdalena, Telimbela; y la parroquia urbana: Chimbo Central. Tiene una superficie de 262 Km², altitud de 2.450 m.s.n.m, y una temperatura de 16°C promedio. Sus límites son: al Norte, el Cantón Guaranda; al Sur el Cantón San Miguel; al Este, el Cantón San Miguel; al Oeste, el Cantón Montalvo (provincia de Los Ríos). Cuenta con 15.779 habitantes (Fuente: Censo de Población y Vivienda CPV 2010) según datos presentados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. En el área urbana se encuentra el 28% de la población, mientras que el 78% se encuentra en el sector rural; la tasa de crecimiento es de -0,4% según datos del último censo.

El Gobierno Municipal del Cantón Chimbo, basándose en el art. 57 del COOTAD (Código Orgánico de Ordenamiento Territorial Autonomía y Descentralización), literal j), que señala como atribución del Consejo Municipal aprobar la creación de empresas públicas para la gestión de servicios de su competencia u obras públicas cantonales. Por ende se expide la Ordenanza de Creación de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del Cantón Chimbo el 1 de Agosto del 2011. La misma que tiene como objetivo específico, en cuanto al sistema de producción: captación reserva y conducción de agua cruda, tratamiento y conducción de agua tratada; y del sistema de distribución: almacenamiento, redes de distribución y procesos de tratamiento de agua, los mismos que se regulan mediante reglamento interno expedido por EP-MAPA-CCH, y aprobado por el consejo Municipal.

Actualmente el cantón cuenta con un servicio de Agua Potable a gravedad, abasteciéndose de las fuentes hídricas naturales; la Planta de Tratamiento de Agua Potable,

que provee a la población Chimbeña, se encuentra en el sector de San Lorenzo, de aquí se entrega el líquido vital por tubería a varios tanques de almacenamiento hacia los demás sectores del cantón, como son: El Tejar, Cruz Loma, Tamban, San José, San Sebastián, Tumbiguan. El número de conexiones domiciliarias de agua potable es de 1830, con una cobertura del servicio, hacia las parroquias y sectores de Chimbo, San Sebastián, Tumbiguan, Lamzaba, Tamban, Casa Huayco, El Tejar, Shamanga, Puyaguata, Rumipamba. Existen tres categorías establecidas para la dotación de este servicio las cuales son: Residenciales (domicilios), Productivos, y Oficiales (empresas gubernamentales). La Planta de Tratamiento de Agua Potable trata agua del río Guapungoto; en sus procesos cuenta con: per-cloración (a la entrada), floculación, sedimentación, filtración, post-cloración (a la salida), almacenamiento y distribución de lodos. Existe un laboratorio para el monitoreo y medición de los diferentes parámetros del agua que se distribuye a la población.

JUSTIFICACIÓN

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Chimbo, con el fin de preservar la salud de los habitantes, el entorno ecológico y contribuir con el mejoramiento de las fuentes hídricas del cantón; está consciente de la mejora continua que se debe realizar en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, para entregar el líquido vital de manera responsable e ininterrumpida, cumpliendo los requisitos que debe cumplir el agua potable para su consumo humano, según establece la norma Norma INEN 1108:2006. Segunda Revisión.

Teniendo en cuenta el incesante desarrollo poblacional del Cantón Chimbo y la necesidad de brindar mayor suministro de agua potable y de excelente calidad, justifica la importancia del proyecto, puesto que la Planta de tratamiento de Agua Potable actualmente cumple sólo con algunos parámetros de la norma y hacen que el sistema sea vulnerable a eventos de suspensión de servicio y la contaminación del recurso, produciendo la inseguridad de parte de la ciudadanía que es la beneficiaria directa de este servicio.

El propósito de este proyecto es la optimización de la Planta de Tratamiento, ya que en época de invierno el agua es demasiado turbia, así también se ha pensado en hacer una modificación en el proceso de sedimentación y filtración para mayor eficiencia. La parte de dosificación se la realiza de forma empírica sin aplicar las dosificaciones exactas, por lo que se ve la necesidad de realizarla de forma técnica.

Tomando en cuenta estas consideraciones se plantea el presente trabajo, que es auspiciado por la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de Cantón Chimbo, facilitando el estudio de optimización, dado que mediante el diagnóstico del estado actual de la planta y de los requisitos de cumplimiento que debe tener el agua potable para consumo humano, se establece todos los cambios y mejoras que se realizarán al Sistema de Tratamiento de Agua Potable “San Lorenzo” del Cantón Chimbo.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- ✚ Optimizar el Sistema de Tratamiento de Agua Potable de la Planta “San Lorenzo” del Cantón Chimbo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✚ Diagnosticar el estado actual del sistema de tratamiento de agua potable de la Planta “SAN LORENZO” del cantón de Chimbo.
- ✚ Realizar la caracterización físico-química y microbiológica del agua que ingresa a la planta de tratamiento y distribución, y comparar con los parámetros de calidad del agua determinados en la NTE INEN 1108: 2006.
- ✚ Identificar las variables del proceso en el sistema de tratamiento de agua potable que puedan sustentar el plan de mejora con relación a los resultados de caracterización del agua de alimentación.
- ✚ Proponer alternativas de mejora para el funcionamiento de la planta de agua potable, sustentado en un soporte técnico y el requerimiento presupuestario.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 AGUA POTABLE

Se denomina agua potable al agua “bebible” en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. El término se aplica al agua que ha sido tratada para su consumo humano según normas de calidad promulgadas por autoridades locales e internacionales.¹

1.2 CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA

El agua o dihidruro de oxígeno es un líquido incoloro, inodoro e insaboro, esencial para la vida animal y vegetal, solvente universal; en la práctica, llamamos agua a las soluciones y suspensiones acuosas de sustancias orgánicas e inorgánicas como las que constituyen la lluvia, el mar, los lagos y los ríos.

El agua pura no existe en la naturaleza. El agua lluvia recoge impurezas mientras pasa a través del aire. Los ríos y las quebradas recogen impurezas provenientes del suelo y de la descarga de aguas residuales domésticas e industriales, transportándolas a los lagos, embalses y mares. Existe menos posibilidad de polución en las aguas superiores de un río, donde la población es escasa, pero en ningún caso puede considerarse un agua superficial carente de contaminación, a pesar que la purificación natural ocurre en todo cuerpo de agua gracias a la sedimentación y muerte de las bacterias patógenas.

¹ TAIPE, E., Agua potable contaminada por el VOC'S, Tesis Ing. M.A, Universidad César Vallejo, Perú, 2009, pg.: 2.

El agua subterránea puede contener cantidades variables de materia disuelta proveniente de los estratos a través de los cuales pasa. Por otra parte, las impurezas suspendidas que adquiere como agua superficial son removidas por filtración al pasar a través del suelo; por eso, en general las aguas de pozo son claras.

Las impurezas en el agua puede encontrarse en solución o en suspensión. La materia suspendida debe removerse, al igual que toda sustancia disuelta que se halle en exceso o que haga el agua inadecuada para su uso. El tipo de polución que puede ocurrir en el agua y las medidas que deben tomarse para prevenirla o removerla varían con la fuente de donde proviene el agua.

Aguas puras, en el sentido estricto de la palabra, no existen en la naturaleza; por consiguiente, se usa el concepto de agua segura y de agua potable. El agua segura es aquella cuyo consumo no implica ningún riesgo para la salud del consumidor, mientras que el agua potable es aquella que además de ser segura es satisfactoria desde el punto de vista físico, químico y biológico, es decir, atractiva para su consumo como bebida. Debe tomarse en cuenta que el concepto de agua segura tiene un valor relativo y no absoluto, esto es, que de acuerdo con la técnica y métodos disponibles se puede afirmar que un agua es segura cuando no existe evidencia de riesgo para la salud del consumidor.

La salud y el aspecto son los principales motivos para el tratamiento del agua. Una variedad de desarrollo en el campo de la calidad del agua desde los años setenta y una creciente comprensión de los efectos sobre la salud han creado un desarrollo en alza en el campo de tratamiento. Con la identificación en el agua de bajos niveles, de compuestos orgánicos potencialmente dañinos, el agua libre de Coliformes y de baja turbidez ya no es suficiente. Las nuevas informaciones relativas a los contaminantes inorgánicos como el plomo están forzando a los suministradores a mejorar el control de calidad del agua dentro de los sistemas de distribución. El aumento de las presiones en los lechos fluviales ha dado por resultado una mayor carga de entrada de microorganismos en muchas plantas de tratamiento. Aunque no ha ocurrido una intensa reevaluación de los aspectos estéticos de la calidad del agua, la calidad estética es importante. Problemas tales como la concentración

mineral excesiva, la fijación de manchas y el color, afectan a la aceptación por parte del consumidor del suministro de agua.²

1.2.1 CALIDAD ESTÉTICA

Adicionalmente a lo concerniente a la salud, la satisfacción del consumidor es también importante. Los componentes estéticos de la calidad del agua potable incluyen olor y sabor, turbidez, color, mineralización, dureza y manchas. Estos problemas pueden originarse en la fuente de origen del agua, dentro de la planta de tratamiento, en los sistemas de distribución y en la instalación de fontanería del consumidor.

1.3 FUENTES DE AGUA

La calidad y la cantidad del agua procedente de aguas superficiales y subterráneas, las dos fuentes principales, experimentan la influencia de la geografía, el clima y las actividades humanas, Las aguas subterráneas normalmente se pueden utilizar con poco o ningún tratamiento. El agua superficial, por otra parte, suele necesitar tratamientos extensos, en especial si está contaminada. En las regiones áridas del mundo la falta de aguas subterráneas o superficiales puede hacer necesaria la desalinización de agua de mar y la recuperación de aguas residuales tratadas. Estos tratamientos son costosos, pero se produce agua de calidad adecuada para cualquier propósito.

1.3.1 AGUAS SUBTERRÁNEAS

Son aquellas que se han filtrado desde la superficie de la tierra hacia abajo por los poros del suelo. Las formaciones de suelo y roca que se han saturado de líquido se conocen como depósitos de aguas subterráneas, o acuíferos. El agua normalmente se extrae de estos depósitos por medio de pozos. El tamaño de los poros del suelo, la viscosidad del agua y

² ROMERO, J. (2009). Calidad del Agua. Bogota- Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. pp:283-297

otros factores se combinan para limitar la velocidad a la cual el agua se mueve a través del suelo para rellenar el pozo. Esta velocidad puede variar desde 1m/día hasta 1m/año.

Un depósito de aguas subterráneas sólo puede soportar una rapidez de extracción de la misma magnitud que la del suministro que recibe de manera continua por infiltración. Una vez que este flujo se excede, el nivel freático comienza a bajar, con lo cual los pozos existentes se secan y se requiere una costosa perforación para localizar nuevos pozos.

Existe una preocupación creciente de que grandes extensiones de granjas productivas pierdan agua de irrigación a medida que los pozos se secan. Las aguas subterráneas no son tan susceptibles a la contaminación como las de superficie, aunque, una vez contaminada, su restauración aun si es posible es difícil y de largo plazo. Casi todos los organismos patógenos y muchas sustancias indeseables se eliminan por la actividad filtrante de las partículas del suelo. Ésta es la razón por la cual los municipios, incluso los que están situados cerca de las aguas superficiales, prefieren los pozos para el abasto de agua. Se necesita muchos menos tratamientos y, por ende, menos gastos, para llevarlas aguas subterráneas al nivel del agua potable. El agua de pozos, aunque en cantidad limitada, es por lo general de calidad uniforme y carece de turbidez, aunque puede requerir un ablandamiento. La calidad de las aguas subterráneas es de difícil acceso cuando se está utilizando un gran número de pozos

1.3.2 AGUAS SUPERFICIALES

Las aguas superficiales de ríos y lagos son fuentes importantes de abastecimiento de aguas públicas en virtud de las altas tasas de extracción que soportan normalmente. Una desventaja de utilizar aguas superficiales es que están expuestas a la contaminación de todo tipo. Los contaminantes llegan a los lagos y ríos desde diversas e intermitentes, como residuos industriales y municipales, drenaje de áreas urbanas y agrícolas, y erosión de los suelos. El agua de turbidez variable y una diversidad de sustancias que contribuyen al sabor, olor y color del agua pueden hacer necesario un tratamiento extenso.

El uso de directo de agua de lluvia es una fuente limitada aunque importante de agua en unas pocas áreas que están lejos de las fuentes de agua dulce pero que reciben precipitación pluvial con regularidad.³

1.4 ANÁLISIS FÍSICO DEL AGUA

1.4.1 TURBIDEZ

La turbidez o turbiedad es una expresión de la propiedad de o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbiedad en una agua puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersos coloidales hasta partículas gruesa, entre otros arcillas, limo, materia orgánica, e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos.

Cuando la luz incide una suspensión de partículas en solución acuosa, éstas pueden remitirlas, en varias direcciones, con la misma longitud de onda, de la luz incidente. Una porción de la luz puede emitirse con la longitud de onda mayor que la luz incidente y una porción de energía puede emitirse enteramente como radiación de longitud de onda grande o calor. El tipo de emisión depende del tamaño de las partículas y de su forma, así como de la longitud de onda de la luz incidente.

Actualmente el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico, en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbiedad nefelométrica (UTN). Con este método se compara la intensidad de la luz dispersa por la muestra con la intensidad de la luz dispersada por una

³ NORDEL, E. (1979). Tratamiento de Agua para industria y otros usos. México. Compañía editorial continental, S.A. pp: 247-427.

suspensión estándar de referencia en la misma condición de medida. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersa, mayor será la turbiedad.

La determinación de la turbiedad es de gran importancia en aguas para consumo humano. Los valores de turbidez sirven para establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.

1.4.2 COLOR

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, maderas, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Al^{+++} o el Fe^{+++} .

Dos tipos de color se reconocen en el agua: el **color verdadero**, o sea el color de la muestra una vez que se ha removido su turbidez, y el **color aparente**, que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el color debido al material suspendidos. El color aparente se determina sobre la muestra original, sin filtración o centrifugación previa.

En general, el término color se refiere al color verdadero del agua y se acostumbra medirlo junto con el pH, pues la intensidad del color depende de este último. Normalmente el color aumenta con el incremento del pH.

La **unidad del color** es producido por un mg/l de platino, en la forma de ion cloroplatinato. La determinación del color se hace por comparación visual de la muestra

con soluciones de concentración de color conocido o con discos de vidrio de colores adecuadamente calibrados. Antes de determinar el color verdadero es necesario remover la turbidez; para ello, el método recomendado es la centrifugación de la muestra.

Una vez centrifugado la muestra, se determina su color por comparación con una serie de estándares de color preparados a partir de una solución patrón de K_2PtCl_6 la cual contiene 500 mg/l de Pt y 250mg/l de cobalto para darle una tonalidad adecuada. La remoción del color es una función del tratamiento del agua y se practica para hacer un agua adecuada para usos generales o industriales. La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso utilizado para su remoción; cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor y su remoción es, por lo tanto, objetivo esencial del tratamiento.

1.4.3 OLOR Y SABOR

Los olores y sabores en el agua con frecuencia ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Muchas pueden ser las causales de olores y sabores en el agua; entre las más comunes se encuentran la materia orgánica en solución, H_2S , cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etc.

La determinación del olor y sabor en el agua es útil para evaluar la calidad y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación. Tanto el olor como el sabor pueden describirse cualitativamente, lo cual es muy útil en especial en casos de reclamos por parte del consumidor, en general los olores son más fuertes a altas temperaturas. El ensayo del sabor debe hacerse con muestras seguras para consumo humano.

Existen diferentes métodos cuantitativos para expresar la concentración de olor y sabor. El método más usado consiste en determinar la relación de dilución a la cual el olor o sabor es apenas detectable. El valor de dicha relación se expresa como **número detectable (ND) de olor y sabor**.

En general, el número detectable puede calcularse así:

$$ND = \frac{A+B}{D}$$

Donde:

A= ml de muestra.

B= ml de agua libre de olor.

1.4.4 TEMPERATURA

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo, el grado de saturación de OD, la actividad biológica, y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la temperatura.

Para obtener buenos resultados, la temperatura debe tomarse en el sitio de muestreo. Normalmente, la determinación de la temperatura puede hacerse con un termómetro de mercurio de buena calidad. El termómetro debe sumergirse en el agua, preferiblemente con el agua en movimiento, y efectuar la lectura después de un lapso suficiente que permita la estabilización del nivel del mercurio. Como el mercurio es venenoso, hay que prevenir cualquier posible rotura del termómetro en agua utilizada para consumo.

1.4.5 SÓLIDOS

Se clasifica toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos, como materia sólida. En ingeniería sanitaria es necesario medir la cantidad del material sólido contenido en una gran variedad de sustancias líquidas y semilíquidas que van desde aguas potables hasta aguas contaminadas, aguas residuales, residuos industriales, y lodos producidos en los procesos de tratamiento.

1.4.5.1 Sólidos totales

Se define como sólidos la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103°C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos).

1.4.5.2 Sólidos sedimentables.

La denominación se aplica a los sólidos en suspensión que se sedimentará, en condiciones tranquilas, por acción de la gravedad. La determinación se hace llenando un cono Imhoff de un litro de volumen y registrando el volumen de material sedimentado en el cono, y al cabo de una hora, en ml/l.

En aguas potables, la determinación de sólidos es la de mayor interés, por ser muy pequeña la cantidad existente de sólidos suspendidos. En general, en aguas para suministro público se recomienda un contenido de sólidos totales menor de 1000mg/l. La determinación de sólidos sedimentables es básica para restablecer la necesidad del diseño de tanques de sedimentación como unidades de tratamiento y para controlar su eficiencia.

1.4.6 CONDUCTIVIDAD

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad. Por esa razón, el valor de la conductividad se usa mucho en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos.

La forma más usual de medir la conductividad en aguas es mediante instrumentos comerciales de lectura directa en $\mu\text{mho/cm}$ a 25°C , con error menor del 1%. La conductividad leída es igual a la conductividad eléctrica de la muestra medida entre caras opuestas de un cubo de 1cm, como se demuestra a continuación.

La resistencia específica de un conductor es función de sus dimensiones y puede expresarse como:

$$C = \frac{R A}{L}$$

Donde:

C= Resistencia específica, ohmio*cm

R= Resistencia, ohmio.

A= Área de la sección transversal del conductor, (cm^2).

L= Longitud del conductor (cm).

La **conductividad específica** de un conductor es igual al inverso de su resistencia específica, o sea:

$$K = \frac{1}{C} = \frac{L}{R A}$$

Donde:

K= Conductancia específica, (mho/cm).

En otras palabras, es la conductancia de un conductor de 1 cm de longitud y una sección transversal de 1 cm², por tanto numéricamente es igual a la conductividad.⁴

1.5 ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA

1.5.1 ALCALINIDAD

La alcalinidad de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrógeno, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH⁻). La determinación de la alcalinidad total y de las distintas formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón de un agua.

En la coagulación química del agua, las sustancias usadas como coagulantes reaccionan para formar precipitados hidróxidos insolubles. Los iones H⁺ originados reaccionan con la alcalinidad del agua y, por tanto, la alcalinidad actúa como *buffer* del agua en un intervalo de pH en que el coagulante puede ser efectivo. Para que ocurra una coagulación completa y efectiva es necesario un exceso de alcalinidad. En el ablandamiento del agua por métodos de precipitación, la alcalinidad es un dato necesario para el cálculo de la cantidad de cal y carbonato de sodio (soda ash) necesarios para el proceso.

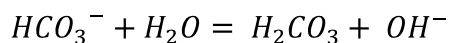
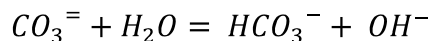
En aguas naturales, la alcalinidad se debe generalmente a la presencia de tres clases de compuestos:

⁴ ROMERO, J.(2009). Calidad del Agua. Bogota- Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. pp: 67-75.

- Bicarbonatos
- Carbonatos
- Hidróxidos

En algunas aguas es posible encontrar otras clases de compuestos (boratos, silicatos, fosfatos, etc.) que contribuyen a su alcalinidad; sin embargo, en la práctica la contribución de éstos es insignificante y puede ignorarse. La alcalinidad del agua se determina por titulación con ácido sulfúrico 0,02N y se expresa como mg/L de carbonato de calcio, equivalente a la alcalinidad determinada. Los iones H^+ procedentes de la solución 0,02N de H_2SO_4 neutralizan los iones OH^- libres y disociados por concepto de la hidrólisis de carbonatos y bicarbonatos.

Las reacciones de hidrolización son las siguientes:



1.5.2 ACIDEZ

La acidez de un agua puede definirse como su capacidad para neutralizar bases, como su capacidad para reaccionar con iones hidróxido, como su capacidad para ceder protones o como la medida de su contenido total de sustancias ácidas. Las aguas excesivamente atacan los dientes.

La determinación de la acidez es de importancia debido a las características corrosivas de las aguas ácidas, así como el costo que suponen la remoción y el control de las sustancias que producen corrosión. El factor de corrosión en la mayor parte de las aguas es

el CO₂, especialmente cuando está acompañado de oxígeno. El contenido de CO₂ es, también, un factor fundamental para la estimación de la dosis de cal y soda en el ablandamiento de aguas duras.

La cantidad de CO₂ en el agua, en equilibrio con la atmósfera, es aproximadamente de 0,5 mg/L; sin embargo su alta solubilidad en el agua hace que se observen concentraciones muy altas en agua de mar, en aguas subterráneas hasta 100 mg/L. Las superficiales contienen generalmente menos de 20 mg/L.

Por medio de aireación, sería factible remover CO₂ hasta alcanzar la concentración de equilibrio con la atmósfera, o sea hasta lograr una concentración de aproximadamente 0,5 mg/L; aunque los procesos de aireación usados sólo remueven parcialmente el CO₂.

1.5.3 CLORUROS

El ion cloruro es una de las especies de cloro de importancia en aguas. Las principales formas del cloro en aguas y su correspondiente número de oxidación, podemos observar en el Cuadro 1.1.

Los cloruros aparecen en todas las naturales en concentraciones que varían ampliamente. En las aguas de mar el nivel de cloruros es muy alto, en promedio de 1 900 mg/L; constituyen el anión predominante. En aguas superficiales, sin embargo, su contenido es generalmente menor que el de los bicarbonatos y sulfatos.

Cuadro 1.1 Formas del cloro en aguas

Compuesto	Nombre	N° de oxidación
HCl	Ácido Clorhídrico	-1
Cl ⁻	Ion cloro	-1
Cl ₂	Cloro molecular	0
HOCl	Ácido hipocloroso	1
OCl ⁻	Ion hipoclorito	1
HClO ₂	Ácido cloroso	3
ClO ₂ ⁻	Ion clorito	3
ClO ₂	Dióxido de Cloro	4
HClO ₃	Ácido clórico	5
ClO ₃ ⁻	Ion clorato	5

Fuente: ROMERO, J., 1999.

Los cloruros aparecen en todas las naturales en concentraciones que varían ampliamente. En las aguas de mar el nivel de cloruros es muy alto, en promedio de 1 900 mg/L; constituyen el anión predominante. En aguas superficiales, sin embargo, su contenido es generalmente menor que el de los bicarbonatos y sulfatos.

1.5.4 FLUORUROS

El ingeniero tiene un doble interés en la determinación de fluoruros: por una parte, es responsable del diseño y operación de unidades de tratamiento para remoción de fluoruros, en aguas que contienen cantidades excesivas, y por otra parte, es responsable de supervisar y formar la adición de fluoruros en dosis óptima a los suministros de agua.

La mayor parte de los fluoruros son de baja solubilidad; por ello la concentración de fluoruros en aguas naturales, es normalmente baja, por lo general menor a 1 mg/L en aguas superficiales, raras veces mayor de 10mg/L y excepcionalmente superior a 50 mg/L -F.

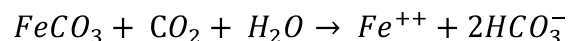
La importancia de los fluoruros en la prevención de la caries se ha demostrado completamente; el organismo procede con los fluoruros en igual forma que con los demás

nutrientes, es decir, que una vez ingeridos los absorbe y los distribuye por la sangre a todos los órganos. Dada la afinidad especial del flúor con el hueso y el diente, es allí donde preferiblemente es captado y utilizado.

1.5.5 HIERRO Y MANGANESO

Tanto el hierro como el manganeso crean problemas en suministros de agua. Estos problemas se presentan en aguas subterráneas, en algunos casos también en aguas superficiales provenientes de ríos y embalses.

El hierro existe en suelos y minerales, principalmente como óxido férrico insoluble y sulfuro de hierro, FeS_2 , pirita. En algunas áreas se presenta como carbonato ferroso, siderita, la cual es muy poco soluble. Como las aguas subterráneas contienen cantidades apreciables de CO_2 , producidas por la oxidación bacterial de la materia orgánica con la cual el agua entra en contacto, se pueden disolver cantidades apreciables de carbonato ferroso mediante la siguiente reacción:



De la misma manera que se disuelven los carbonatos de calcio y magnesio. Los problemas del hierro predominan cuando éste está presente en el suelo como compuestos férricos insolubles.

El manganeso existe en el suelo, principalmente como dióxido de manganeso, el cual es insoluble en aguas que contienen dióxido de carbono. Las aguas con hierro y manganeso, al ser expuestas al aire, se hacen turbias e inaceptables estéticamente por acción del oxígeno, así como por la oxidación de hierro y el manganeso solubles, en Fe^{+++} y Mn^{++} , los cuales forman precipitados coloidales. La tasa de oxidación es lenta y por ello el hierro y el manganeso soluble pueden persistir por algún tiempo en aguas aireadas; esto es

generalmente válido para el hierro cuando el pH es menor a seis y para el manganeso cuando el pH es menor a nueve.

Tanto el hierro como el manganeso interfieren las operaciones de lavado, imparten tintaciones indeseables a los accesorios de plomería, causan incrustaciones en las tuberías y dificultades en los sistemas de distribución al soportar crecimientos bacterianos del hierro. El hierro y el manganeso en bajas concentraciones, imparten sabores metálicos al agua. Hasta donde se conoce, el consumo humano de aguas con hierro y manganeso no tiene efectos nocivos a la salud.

1.6 ANÁLISIS BACTERIOLÓGICO DEL AGUA

Todo organismo debe encontrar en su medio ambiente las unidades estructurales y las fuentes de energía necesarias para formar y mantener su estructura y organización. Casi todos los organismos vivos requieren los siguientes nutrientes:

- a) Fuente de carbono
- b) Fuente de energía
- c) Fuente de nitrógeno
- d) Agua
- e) Fuente mineral

En términos de sus requerimientos de oxígeno, se acostumbra clasificar a los microorganismos como **aeróbicos** y **anaeróbicos**. Los aeróbicos son los que requieren de oxígeno libre para obtener energía para sus procesos vitales, mientras que los anaeróbicos son aquellos que pueden utilizar fuentes de oxígeno diferentes de la de oxígeno libre.

El término **facultativo** se aplica a aquellos organismos que tienen capacidad de vivir bajo más de un conjunto específico de condiciones ambientales; así, por ejemplo,

facultativos anaeróbicos son aquellos microorganismos que pueden sobrevivir tanto en presencia como en ausencia de oxígeno libre.⁵

1.6.1 MICROBIOLOGÍA DEL AGUA

El agua contiene suficientes sustancias nutritivas para permitir el desarrollo de diferentes microorganismos. Muchas de las bacterias del agua provienen del contacto con el aire, el suelo, animales o plantas vivas o en descomposición, fuentes minerales y materia fecal. La transmisión de organismos patógenos a través del agua ha sido la fuente más grave de epidemias de algunas enfermedades.

El análisis bacteriológico del agua es vital en la prevención de epidemias como resultado de la contaminación del agua, pero el examen bacteriológico de abastecimiento de agua no implica la búsqueda directa de los gérmenes patógenos. El ensayo se basa en el supuesto de que todas las aguas contaminadas con las cloacas son potencialmente peligrosas. Por consiguiente, el control sanitario del agua se hace con métodos bacteriológicos para determinar la presencia de contaminación fecal. Ensayos para determinación de patógenos no se usan rutinariamente debido a que detectarlos en diluciones altas es muy difícil y además se encuentran en número muy inferior al de las bacterias, las cuales tienen una tasa de mortalidad mucho más lenta.

El examen bacteriológico del agua usualmente implica dos ensayos: la estimación del número de bacterias de acuerdo con el conteo total en placa y la determinación, más significativa, de la presencia o ausencia de miembros del grupo coliforme

⁵ ROMERO, J. (2009). Calidad del Agua. Bogota- Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. pp: 79-123.

1.6.2 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

La muestra para examen bacteriológico debe ser representativa y examinarse en el menor tiempo posible; debe tomarse en cuenta en frasco previamente esterilizado, al igual que el orificio o grifo de donde se extrae la muestra.

En muestras provenientes de aguas tratadas con cloro (como en piscinas), debe adicionarse suficiente tiosulfato de sodio al envase de muestreo para neutralizar el cloro residual y prevenir su acción durante el tiempo transcurrido entre la recolección y su análisis.

El ensayo de conteo en placa sobre agar nutriente, con incubación a 20°C, 35°C o 37°C durante 48 ± 3 horas, es uno de los ensayos más antiguos de evaluación de la pureza del agua. El ensayo es útil como prueba de control de rutina de la calidad del agua en los procesos de tratamiento y como un método de estimación de la calidad sanitaria de la misma.

El ensayo sirve para indicar la eficiencia de la coagulación, filtración y desinfección del agua; para estimar las condiciones sanitarias de taques, filtros, tubería de distribución, etc.; para evaluar la calidad de nuevas fuentes de abastecimiento de aguas, y como indicador de polución súbita de abastecimientos.

En la interpretación del resultado de un conteo en placa sobre agar nutriente hay que tener en cuenta la temperatura y el tiempo de incubación; por ello es importante seguir siempre el mismo método estándar. Aunque no se ha establecido una norma sobre el máximo número de bacterias permisibles para aguas seguras, se acepta generalmente un valor de 100 por ml a 35°C o 37°C.

Si los conteos totales a las dos temperaturas se aproximan bastante en su valor, existe fuerte coincidencia de la presencia de polución con bacterias de aguas residuales.

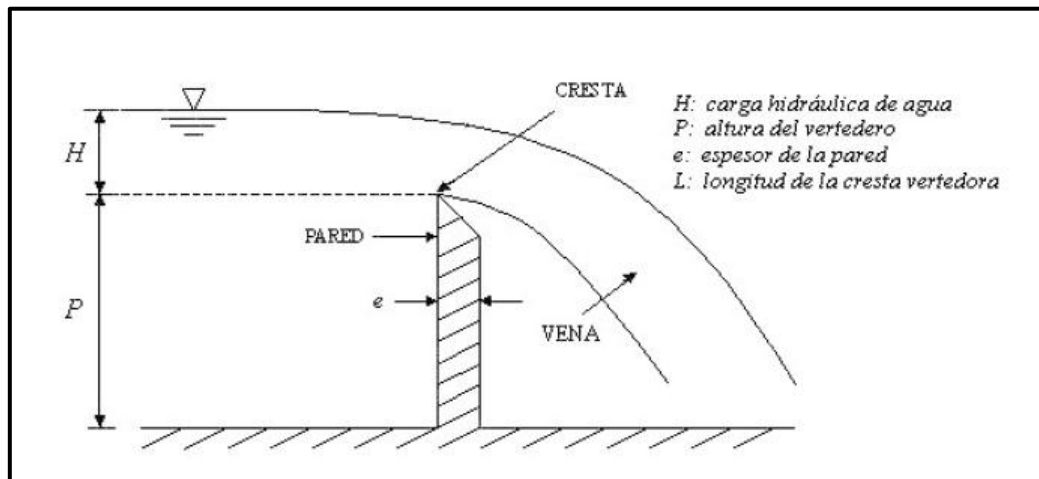
1.7 MEDIDORES DE CAUDAL

1.7.1 VERTEDERO

Muro o barrera que se interpone al flujo, causando sobre-elevación del nivel de la lámina aguas arriba y disminución aguas abajo.

- Control de nivel en embalses, canales, depósitos, estanques, etc.
- Aforo o medición de caudales.
- Elevar el nivel del agua.
- Evacuación de crecimientos o derivación de un determinado caudal.

Cuando se instalan en corrientes naturales tienen la desventaja que se colmatan de sedimentos.



Fuente: artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/medidoresQ.pdf

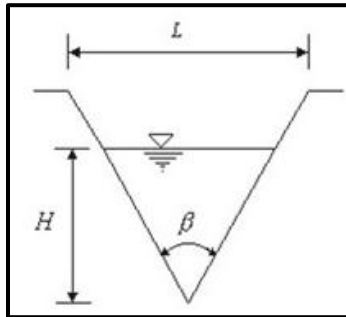
Figura 1.1 Vertedero vista lateral

1.7.1.1 Ecuación general

Para determinar el caudal que pasa a través del vertedero se aplica la ecuación de la energía entre 1 y 2, considerando algunas suposiciones básicas:

- Distribución hidrostática de presiones.
- Las pérdidas por fricción y locales entre 1 y 2 son despreciables.
- La tensión superficial es despreciable.
- El flujo aguas debajo de la estructura (vena) debe ser libre (no ahogado) para garantizar que la presión en la vena sea atmosférica (chorro libre).
- Se desprecia el efecto de la cabeza de velocidad de llegada.

1.7.1.1.1 Vertedero Triangular



Fuente: artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/medidoresQ.pdf

Figura 1.2 Vertedero triangular

Para incluir los efectos friccionales se utiliza un coeficiente C_d , en función del ángulo del vertedero; se hace una media con los dos valores del coeficiente.

Tabla 1.1 Valores característicos de C_d

ÁNGULO β	C_d
15°	0.52-0.75
30°	0.59 – 0.72
45°	0.59 – 0.69
60°	0.50 – 0.54
90°	0.50 – 0.60

Fuente: artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/medidoresQ.pdf

$$Q_{\text{entrada } 1} = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \left(\tan \beta / 2 \right) H^{5/2}$$

(Ecuación 1.1)

Donde:

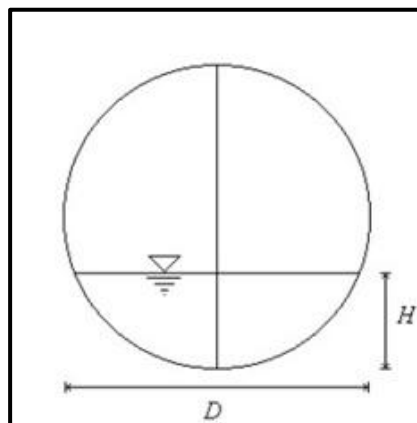
β = Ángulo del canal

g = Gravedad

H = Altura con respecto al agua

C_d = En la Tabla 1.1

1.7.1.1.2 Para tuberías con sección parcialmente llena



Fuente: artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/medidoresQ.pdf

Figura 1.3 Vertedero circular

El ángulo central φ , se obtiene de la Tabla 1.2, si no coincide el valor del cociente H/D, con el de la tabla, el ángulo se obtiene por medio de interpolación.

Tabla 1.2 Valores de φ frente

H/D	φ	H/D	φ
0.05	0.0272	0.55	2.8205
0.10	0.1072	0.60	3.2939
0.15	0.2380	0.65	3.7900
0.20	0.4173	0.70	4.3047
0.25	0.6428	0.75	4.8336
0.30	0.9119	0.80	5.3718
0.35	1.2223	0.85	5.9133
0.40	1.5713	0.90	6.4511
0.45	1.9559	0.95	6.9756
0.50	2.3734	1.00	7.4705

Fuente: artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/medidoresQ.pdf

$$Q_{entrada 2} = \varphi \cdot 0.555 + \frac{D}{110H} + 0.041 \frac{H}{D} D^5$$

(Ecuación 1.2)

Donde:

H = Altura con respecto al agua (m).

D = Diámetro (m).

φ = En la Tabla 1.2

1.7.2 CAUDAL TOTAL

El caudal total es la suma de los caudales parciales determinados por las Ecuaciones 1.1 y 1.2.

$$Q_T = \sum_{i=1}^k q_i$$

(Ecuación 1.3)

1.7.3 AFORO

Aunque el aforo no es un proceso de tratamiento, el operador de una planta de tratamiento debe hacer aforos para:

- Controlar el caudal de cada proceso de tratamiento.
- Ajustar las dosificaciones de sustancias químicas.
- Determinar la eficiencia de los equipos de bombeo.
- Calcular tiempos de retención.
- Controlar el caudal de agua tratada y suministrada.
- Calcular el costo unitario de tratamiento.

En la mayoría de los casos se considera que los registros de caudal deben tener un error menor al 2 % para prevenir costos adicionales innecesarios de tratamiento. Cualquiera que sea el tipo de medidor usado: por diferencial de presión, de velocidad, magnético, ultrasónico, vertederos, canaletas de Parshall, etc.⁶

1.8 COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN DE LAS IMPUREZAS DEL AGUA

Se llama coagulación – floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas *floc*. Este proceso se usa con el fin de:

- a) Remoción de turbiedad orgánica que no puede sedimentar rápidamente.

⁶ Medidores de Caudal. Consultado el 28 de septiembre del 2013, de: artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/medidoresQ.pdf

- b) Remoción del color verdadero y aparente.
- c) Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- d) Destrucción de algas y plancton en general.
- e) Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros.

Hay que definir dos aspectos fundamentales en la coagulación – floculación del agua:

- a) La desestabilización de las partículas suspendidas, o sea la remoción de las fuerzas que las mantiene separadas.
- b) El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre sí y formando una malla tridimensional de coágulos porosos.

La **coagulación** comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes en el agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma. La **floculación** es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores.⁷

Tres mecanismos pueden actuar en el primer fenómeno: el de adsorción – desestabilización basada en las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión, el puente químico que establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y la superficie de los coloides, y el de sobresaturación de coagulantes en el agua.

El segundo aspecto debe distinguirse entre: Floculación ortocinética y pericinetica, o con escala de turbulencia por encima o por debajo de la microescala de Kolmogoroff η .

⁷ Coagular viene del latín “coagulare” que significa aglutinar. Flocular de “floculare” que significa hacer un grumo o coágulo.

La primera es inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias). La segunda es la promovida, internamente dentro del líquido, por el movimiento de agitación que las partículas tienen dentro de aquél (movimiento browniano), y se realiza en un tiempo muy corto después de destabilizada la partícula hasta que la partícula tiene un tamaño que se acerca a la microescala de Kolmogoroff η .

1.8.1 REMOCIÓN DE COLOR

Las razones por las cuales se suele hacer remoción del color en el agua son de orden estético, químico – sanitario e industrial.

- a) Estético, porque la mayoría de la gente prefiere una agua cristalina.
- b) Químico – sanitario, porque interfiere con el proceso de cloración, al formar clorohalometanos que se sospechan son cancerígenos, dificulta los análisis colorimétricos del agua, complica el proceso de coagulación y estabiliza el hierro y el manganeso en solución.
- c) Industriales, porque interfiere ciertos procesos industriales y obstaculiza el funcionamiento de resinas aniónicas de intercambio iónico.

El agua coloreada es generalmente blanda, ácida y con baja alcalinidad. El color se puede remover con coagulantes metálicos como el Al (III) y el Fe (III). Este último es más eficiente que el primero, pero tiene la desventaja de que si excede la dosis óptima, queda un alto contenido de hierro en el agua. El pH para remover color es más bajo que el que se necesita para remover turbiedad.

La mezcla de color y turbiedad (especialmente si viene acompañada de un alto contenido hierro) puede dificultar más bien que ayudar en el proceso de coagulación. En este caso se necesita decidir si se requiere o no agregar alcalinidad adicional y cuál es el pH óptimo, lo cual solo se puede hallar por medio de cuidadosa experimentación. Por otra parte, debido a su naturaleza el *floc* de color es extremadamente liviano y quebradizo y la

presencia de turbiedad puede darle más peso y resistencia lo que resulta beneficioso en el proceso de sedimentación.

1.8.2 COAGULANTES

Los coagulantes los podemos clasificar en dos grupos: los polielectrolitos o ayudantes de coagulación y los coagulantes metálicos. Ambos actúan básicamente como polímeros además de la carga eléctrica que poseen. En los polímeros, las cadenas poliméricas están ya formadas cuando se los agrega al agua. En los segundos, la polimerización se inicia cuando se pone el coagulante en el agua, después de lo cual viene la etapa de adsorción por los coloides presentes en la fase acuosa.

Es necesario observar que la velocidad de sedimentación de las partículas coaguladas no dependen en forma exclusiva de los coagulantes usados, sino del peso de las partículas que se trata de sedimentar.

1.8.2.1 Coagulantes metálicos

Existen una variedad de coagulantes metálicos que los podemos clasificar en tres tipos: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios.

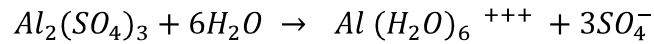
1.8.2.1.1 Coagulación con sales de aluminio

Las sales de aluminio forman un floc ligeramente pesado. Las más conocidas de éstas son el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el cloruro de polialuminio. El primero es el coagulante que por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo se usa con mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de agua potable.

1.8.2.2 Química de coagulación con Al (III)

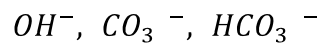
El sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ es un polvo de color marfil, ordinariamente hidratado, que con el almacenaje suele convertirse en terrones relativamente duros.

Cuando está en solución se encuentra hidrolizado, esto es, asociado con el agua, así:



Esta es una propiedad común con todos los cationes metálicos, que no pueden permanecer aislados cuando están rodeados de moléculas de agua. Los iones de aluminio hidratados $Al(H_2O)_6^{+++}$ actúan como un ácido, y reaccionan con las bases que encuentran en el agua:

- a) Con la alcalinidad, que se expresa como:



- b) Con las moléculas de agua H_2O .

Como las bases que constituyen la alcalinidad son más frecuentes que el H_2O , el $Al(H_2O)_6^{+++}$ reaccionará siempre antes con ellas, que con la molécula el agua. Por tanto, habrá un consumo y un descenso de pH.

1.8.2.3 Cloruro de Polialuminio

El cloruro de polialuminio (polyaluminum chloride, PAC) es un derivado polimérico del aluminio que existe desde hace bastantes años, y que ahora se ha introducido en el mercado.

Los beneficios de este nuevo coagulante son: 1) una mejor formación de floc; 2) un más amplio rango de pH; 3) menor generación de lodos; 4) y poca o ninguna necesidad de usar conjuntamente polielectrolitos. Su peor desventaja es que tiene mayor costo que el sulfato de

aluminio o el cloruro férrico, pero podría equilibrarse este costo si conjuntamente con los coagulantes metálicos, hay necesidad de usar polielectrolitos.⁸

1.8.2.3.1 Dosis

- a. Para uso en agua potable 30 mg/l máximo.
- b. Para uso en aguas residuales puede ser de 50-500 mg/l.
- c. Para uso en aguas aceitosas 500-2000 mg/l.

1.8.2.3.2 Aplicación

PAC líquido puede ser aplicado directamente o bien bombeando el producto diluido con agua limpia en una proporción de 10:1, usando una bomba de material anticorrosivo de desplazamiento positivo. Mejores resultados se obtienen provocando alta turbulencia para rápido mezclado por un corto tiempo después del punto de adición.⁹

1.8.3 FLOCULADORES HIDRÁULICOS

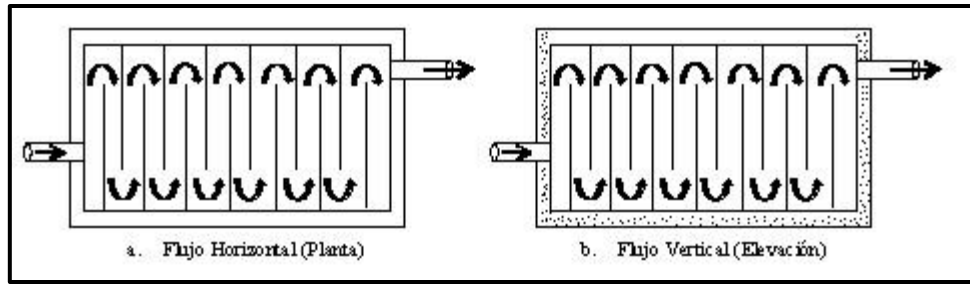
1.8.3.1 Floculadores de tabiques

Los floculadores hidráulicos derivan su energía para la agitación de la masa líquida, de la carga de velocidad que en el flujo adquiere al escurrir por un conducto.

Consiste en tanques provistos de pantallas entre los cuales el agua circula con una velocidad fija, produciendo cierta turbulencia en cada cambio de dirección del flujo.

⁸ ARBOLEDA, J. (2000). Teoría y Práctica de la Purificación del Agua., 3.a.ed., Bogotá – Colombia., Editorial Mc. Graw Hill. Tomo I. pp: 21-56

⁹ Cloruro férrico S.A. de C.V. Consultado el 28 de septiembre del 2013, de: www.prodigyweb.net.mx/cloruroferrico.



Fuente: ARBOLEDA, J., 2000.

Figura 1.4 Floculadores hidráulicos de tabiques

Son de flujo horizontal y flujo vertical. En los primeros, el flujo va y viene alrededor de los tabiques haciendo giros de 180° al final de cada uno. En los segundos, el flujo sube y baja en condiciones similares.

En ambos casos se produce una pérdida de carga h_f .

- a) Por el cambio de dirección y turbulencia h' .
- b) Por el ensanchamiento y contracción de la sección h'' .
- c) Por la fricción en los tramos rectos h_2 .

La suma de estas pérdidas de carga constituyen la pérdida de carga total h . En los floculadores de flujo horizontal $h' + h'' = h_1$ es proporcional a la carga de velocidad $v^2/2g$, así:

$$h_1 = kN \frac{v^2}{2g}$$

(Ecuación 1.4)

En donde,

k = constante empírica

N = número de tabiques

v = velocidad promedio del flujo = Q/A = gasto/ sección transversal.

Esta velocidad promedio suele variar entre 0.10 y 0.60 m/s. Algunos diseñadores suelen hacer dos o tres sectores, incrementando el espaciamiento de los tabiques para producir una alta velocidad al principio (*0.30 - 0.60 m/s*) y baja al final (*0.10 - 0.20 m/s*).

Las velocidades altas (0.60 m/s) pueden romper el floc, mientras que las bajas (0.10 m/s) permiten la sedimentación de los lodos. Cada agua de acuerdo con las fuerzas que mantienen aglutinadas las partículas y los coagulantes que se usen, requiere un estudio especial al respecto.

1.8.4 CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

La coagulación-floculación del agua constituye el proceso básico que determina en gran parte las condiciones de operación de la planta de tratamiento. De aquella depende casi por completo la mayor o menor eficiencia del proceso: el de la separación de sólidos por sedimentación y filtración. La remoción de turbiedad en los sedimentadores y filtros así como la calidad del agua que se obtenga en ellos, se relacionan directamente con la manera como las partículas sean desestabilizadas y con la intensidad de las fuerzas que las aglutinan. Desde 1920, en EEUU, empezaron a desarrollar diferentes sistemas para estimar la dosis de coagulantes requerida, hasta el presente, un sinnúmero de técnicas de control han venido apareciendo.

En general los métodos de control podrían dividirse en tres grandes grupos, a saber:

- a) Sistemas de simulación del proceso de coagulación (prueba de jarras).
- b) Sistemas de medida de las cargas electrostáticas de las partículas (potencial zeta y potencial de corriente).
- c) Sistemas de medida de la filtrabilidad del agua.

Ninguno de estos métodos puede considerarse separadamente satisfactorios. En realidad todos aportan información sobre diversos parámetros que deben tenerse en cuenta. El

control de los aspectos físico – químicos no es suficiente en la práctica diaria de operación de la planta.

1.8.4.1 Sistemas de simulación del proceso de coagulación

Estos sistemas consisten en simular en unos vasos de precipitado o jarras el proceso de coagulación que se produce en la planta de tratamiento y evaluar distintos parámetros durante o al final de los ensayos para caracterizar su funcionamiento. Las pruebas de jarras pueden utilizarse tanto para controlar la coagulación-floculación de una planta de tratamiento existente como para obtener los datos de diseño para el proyecto de nuevas unidades.

1.8.4.2 Determinación de la dosis óptima de coagulante

El objetivo de este ensayo es poder determinar la dosis de coagulante que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales en la planta y hace que se forme un floc pesado y compacto que pueda fácilmente retenido en los sedimentadores u no se rompa al pasar por el filtro. No necesariamente el floc que sedimenta rápidamente es el que queda retenido en el filtro con más facilidad. El floc que se busca es el que da el mayor rendimiento en el conjunto de los procesos de clarificación.

1.9 SEDIMENTACIÓN DEL AGUA

Se entiende por sedimentación a la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

Esto se lo hace dejando sedimentar el agua y filtrándola, ejecutando ambos procesos consecutivamente; estos dos procesos son complementarios. La sedimentación realiza la separación de los sólidos más densos del agua y que tiene una velocidad de caída tal que

puede llegar al fondo del tanque sedimentador en un tiempo económicamente aceptable. La filtración, en cambio, separa aquellos sólidos que tienen una densidad muy cercana a la del agua. O que han sido resuspendidos por cualquier causa por el flujo, y que por lo tanto no quedan removidos en el proceso anterior.

La sedimentación ocurre de diferentes maneras, según la naturaleza de los sólidos, su concentración y su grado de floculación. En el agua se pueden encontrar partículas llamadas discretas, las cuales no cambian de tamaño, o forma o peso cuando se sedimentan, y partículas floculentas y precipitantes en las cuales la densidad y el volumen cambia a medida que ellas se adhieren unas a otras mediante mecanismos de floculación, precipitación, arrastre o barrido.

1.9.1 SEDIMENTACIÓN LAMINAR

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. En este tipo de unidades existen tres factores que favorecen la sedimentación de partículas:

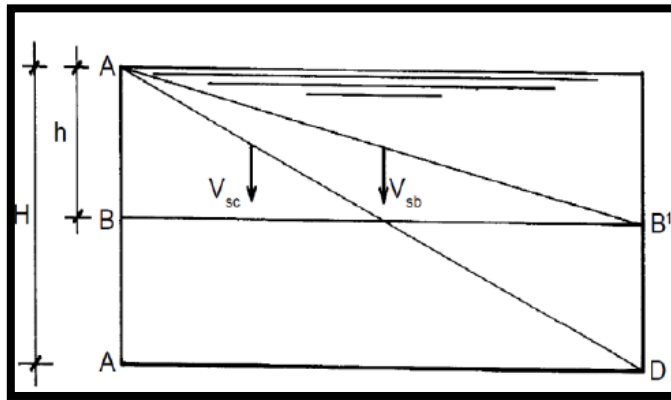
- Aumento del área de sedimentación.
- Disminución de la altura de caída de la partícula.
- Régimen de flujo laminar.

1.9.1.1 Criterios de Diseño

Los criterios de diseño de sedimentadores para clarificación del agua se basan en valores obtenidos a través de la experiencia en la operación de prototipos de plantas y plantas piloto de tratamiento de agua.

La eficiencia en los sedimentadores convencionales de flujo horizontal principalmente depende del área. De manera que si se introduce una placa intermedia, tal como se muestra en la Figura 1.5., logrando que partículas con velocidad de sedimentación V_{sb} menores a la

velocidad crítica de sedimentación V_{sc} sean removidas. Con lo cual se puede decir que la capacidad de sedimentación aumenta con el aumento de su área superficial.



Fuente: MARTINEZ, E., ESTRADA, J.

Figura 1.5 Efecto de introducir placas intermedias.

La velocidad de sedimentación depende de una correcta coagulación y floculación, además de la calidad de la fuente de agua a tratar. En teoría todas las partículas con velocidad mayor o igual a la crítica serán automáticamente removidas. El número de Reynolds es otro factor importante para el correcto funcionamiento del sedimentador; los sedimentadores de placas inclinadas se pueden diseñar con número de Reynolds de hasta 500, sin que se obtengan disminuciones apreciables en la eficiencia alcanzada.

1.9.1.1.1 Carga superficial o tasa de sedimentación superficial

Una de las principales características del tanque de sedimentación es su área superficial, la cual depende de la carga o tasa de sedimentación superficial:

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

(Ecuación 1.5)

Donde:

CS= Carga superficial (m^3/m^2d).

Q= Caudal (m^3/d).

A= Área superficial (m^2).

1.9.1.1.2 Velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación.

Dada por la relación:

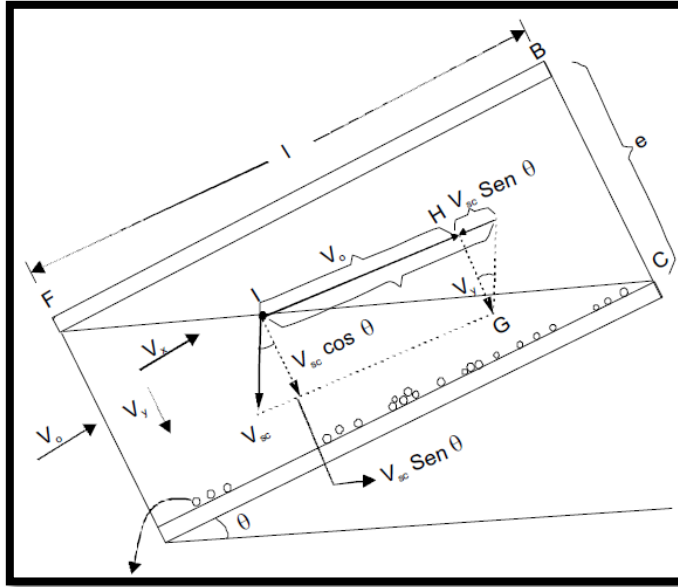
$$v_0 = \frac{Q}{A \operatorname{sen}\theta}$$

(Ecuación 1.6)

Determina la velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación o carga superficial en el área de sedimentación; tiene las dimensiones de la carga superficial, generalmente (m/d).

1.9.1.2 Modelo de YAO

La trayectoria que lleva una partícula en el interior de un canal formado por dos placas paralelas con una inclinación θ con respecto a la horizontal, está en función de la velocidad media del fluido v_0 y la velocidad crítica de sedimentación de la partícula v_{sc} .



Fuente: MALDONADO, V., www.ingenieriasanitaria.com

Figura 1.6 Trayectoria de una partícula en placas paralelas inclinadas

De lo cual se deduce la ecuación de Yao:

$$v_{sc} = \frac{S_c v_0}{\text{sen}\theta + L_c \text{cos}\theta}$$

(Ecuación 1.7)

Donde:

v_{sc} = Velocidad crítica de asentamiento (m/d).

S = Obtenida en el Cuadro 1.2 (1.0 para sedimentadores de placas paralelas).

v_0 = Velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación o carga superficial en el área de sedimentación (m/d).

L_c = Longitud relativa efectiva de sedimentación en flujo laminar, corregida en la longitud de transición.

θ = Ángulo que forma la placa con la horizontal.

Cuadro 1.2 Valores de S según el tipo de módulo

Tipo de módulo	S
Placas planas paralelas	1
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Placas onduladas paralelas	1.30
Otras formas tubulares	1.33-1.42

Fuente: MALDONADO, V., www.ingenieriasanitaria.com/

La Ecuación 1.5, permite relacionar las características del fluido (v_0), la partícula (v_{sc}), y las dimensiones del sedimentador (L). El parámetro S caracteriza la eficiencia del sedimentador y su valor crítico S_c para el caso de placas planas es 1. Cualquier partícula suspendida con $S > 1$ será teóricamente removida. Por razones prácticas, para permitir la remoción continua del lodo, θ es generalmente igual a 60° .

La longitud relativa (L) relaciona la longitud de las placas inclinadas (l) con el ancho del canal formado por las mismas. Se recomienda usar un valor de L igual a 20 para dimensionar el módulo de sedimentación, valor que comprende tanto la longitud de transición como la longitud de sedimentación.

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

(Ecuación 1.8)

Donde:

L = Longitud relativa.

l = longitud de las placas (cm).

d = separación entre placas (cm).

En los sedimentadores se supone un régimen de flujo laminar, pero en la práctica se acostumbra a dejar el primer cuarto de la longitud del tanque de sedimentación libre de

elementos de sedimentación para permitir buenas condiciones de entrada del caudal; además que a la entrada existirá una región de transición en la cual el flujo uniforme se convierta gradualmente en flujo completamente laminar debido a la influencia de los contornos sólidos. La longitud relativa L' , para la región de transición, según Schulze, nos indica la Ecuación 1.7:

$$L' = 0.013 \frac{v_0 d}{\nu}$$

(Ecuación 1.9)

Donde:

L' = Longitud relativa para la región de transición de las placas.

v_0 = Velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación o carga superficial en el área de sedimentación (m/min).

d = separación entre placas (cm).

ν = Viscosidad cinética de agua (m²/s).

La existencia de la región de transición obliga a tener en cuenta, para los cálculos, la longitud de la zona de transición y tomar un valor de longitud relativa efectiva de sedimentación, en flujo laminar, L_c , igual a L corregida en la longitud de transición L' , con lo cual se provee un factor de seguridad en el diseño; con lo que:

$$L_c = L - L'$$

(Ecuación 1.10)

Algunos autores recomiendan verificar el número de Reynolds para garantizar flujo laminar en los sedimentadores. En general se recomienda, $N_{RE} < 500$, con:

$$N_{RE} = \frac{v_0 * d}{\nu}$$

(Ecuación 1.11)

Donde:

v_0 = Velocidad promedio de flujo en el sedimentador (m/d).

d = Ancho del sedimentador.

ν = Viscosidad cinética (m^2/s).

Cuadro 1.3 Viscosidad cinética del agua a diferentes temperaturas

T °C	$\nu * 10^{-6} m^2/s$
0	1,785
5	1,519
10	1,306
15	1,139
20	1,003
25	0,893
30	0,800

Fuente: ROMERO, J. (1999).

En general el tiempo de retención en las placas es de 15 a 25 minutos, se calcula por la expresión:

$$t = \frac{l}{v_0}$$

(Ecuación 1.12)

Donde:

l = longitud de las placas (m).

1.9.1.2.1 Profundidad

La eficiencia del tanque de sedimentación es afectada por el grado de floculación de los sólidos suspendidos, el cual, a la vez, depende del tiempo de retención. El volumen del tanque de sedimentación es igual al producto de su área superficial A por la profundidad d :

$$V = A * d$$

(Ecuación 1.13)

1.9.1.3 Tiempo de retención

El tiempo de retención depende del propósito del sedimentador. Para tanques o dársenas de sedimentación simple, el tiempo de retención debe ser lo suficientemente largo como para permitir el asentamiento de partículas con velocidad de asentamiento muy baja; en este caso el tiempo de retención puede ser de varios días.

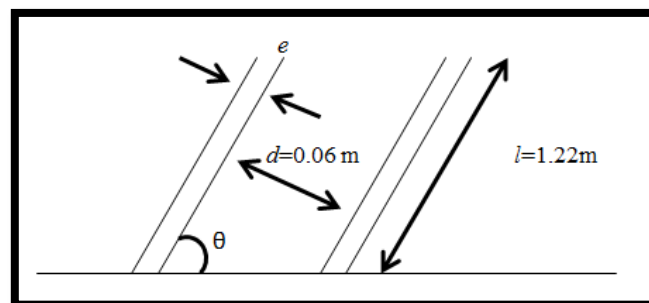
En tanques convencionales usados para sedimentación de los sólidos provenientes de coagulación o ablandamiento de aguas, un tiempo de retención de 2 a 4 horas es generalmente suficiente como preparación del agua para su filtración subsecuente. Cuando el agua va a ser usada sin filtración. Se proveen tiempos de retención hasta de 12 horas.

El tiempo de retención es igual al volumen del tanque dividido por el caudal:

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{Ad}{Q}$$

(Ecuación 1.14)

1.9.1.3.1 Cálculo de placas planas



Fuente: El Autor.

Figura 1.7 Dimensiones entre placas.

$$N = \frac{L_s \operatorname{sen}\theta + d}{d + e}$$

(Ecuación 1.15)

Donde:

N= Número de placas planas

L_s = Longitud del sedimentador (distancia que ocuparan las placas) (m).

e = espesor de la placa (m).

d = Distancia entre placas (m).

1.9.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CLARIFICACIÓN POR SEDIMENTACIÓN

En un sentido amplio el término sedimentación comprende un grupo de acciones diferentes según el tipo concentración de sólidos o partículas en suspensión, los que se resumen en la Cuadro 1.3:

Cuadro 1.4 Diferentes modelos del proceso de clarificación por sedimentación.

Clarificación por sedimentación tipo	Características de sólidos en suspensión	Descripción de proceso	Ejemplos
1	Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas.	No hay interacción entre las partículas y el resto del fluido.	Movimientos de sedimentación de partículas en desarenadores o presedimentadores.
2	Partículas aglomeradas en soluciones relativamente diluidas.	Las partículas se aglomeran agrupándose en partículas de mayor tamaño.	Sedimentación de flocs en decantadores horizontales o de placas.
3	Soluciones de concentración intermedia.	Las partículas interfieren entre sí en su descenso manteniendo posiciones estables.	Deposición de lodos en decantadores de flujo ascendente
4	Soluciones de alta concentración.	Se forma una estructura entre las partículas que va modificándose lentamente con el tiempo.	Compactación de depósito de lodos

Fuente: ARBOLEDA, J. 2000

Para el modelo de clarificación tipo 1 los sólidos o partículas son idealizados como discretas y aislados, sin cambio de densidad, tamaño o forma al descender del líquido. En el modelo de clarificación 2 los sólidos o partículas son pensadas como aglomeradas y al descender se adhieren o aglutinan entre sí cambiando de tamaño, forma y peso específico durante el día. En la clarificación tipo 3 y tipo 4 es el comportamiento conjunto de los sólidos lo que se analiza, debido a las interferencias mutuas entre partículas que hace que éstas formen un manto de lodos que flota en el líquido.

Los tipos de sedimentadores, clasificados según el sentido del flujo, utilizados en las unidades de decantación y el tipo de clarificación que se genera se resumen en la Cuadro 1.5.

Cuadro 1.5 Tipos de sedimentación según el sentido del flujo en unidades de decantación de plantas de purificación de agua.

Sentido del flujo	Tipo de sedimentación	Ejemplo	Rata de flujo m³/m²/d
Horizontal	1 y 2	Desarenadores	200-420
Vertical	2 y 3	Manto de lodos	15-30
Inclinado (ascendente o descendente)	1 y 2	Decantadores con módulos o placas	45-60
			120-180

Fuente: ARBOLEDA, J. 2000

1.9.3 CONTROL DEL PROCESO DE SEDIMENTACIÓN

Debido a la baja velocidad de transporte de la masa líquida, el flujo en los sedimentadores es inestable. El análisis del comportamiento de un sedimentador tiene que hacerse a través del tiempo, pues los resultados obtenidos en una prueba no son necesariamente iguales los que se obtengan en otra prueba realizada al otro día.

1.9.4 ENSAYOS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA

La forma más adecuada para medir la eficiencia de un sedimentador es un problema por resolver.

Continuamente, se toma como la relación entre la concentración de partículas a la salida N_t y la concentración de partículas a la entrada N_o del decantador, o sea:

$$Eficiencia = 1 - \frac{N_t}{N_o} = 1 - \frac{Turbiedad\ de\ salida}{Turbiedad\ de\ entrada}$$

(Ecuación 1.16)

Este sistema de medir la eficiencia tiene el inconveniente de que está influenciada por el valor de N_o . Si N_o es alto, las reducciones aparecen mucho más grandes que si es pequeño. Por ejemplo, si un sedimentador produce un agua con 5 UNT de turbiedad, y la turbiedad del agua que le entra es de 50 UNT, la eficiencia será de 90%, si en cambio la turbiedad de entrada es de 500 UNT, la eficiencia será de 99%, no obstante que en ambos casos el efluente es de la misma calidad. Al compararse por tanto la eficiencia de un decantador con otro, por este sistema, debe tenerse en cuenta el valor de N_o , ya que al variar éste, el porcentaje de remoción cambia, sin que necesariamente N_t varíe.

Según el tipo de suspensión, un decantador remueve mayor o menor porcentaje de partículas de determinado diámetro, ya que, como es obvio, separará con más facilidad las partículas de más rápida velocidad de asentamiento.

1.10 FILTRACIÓN DEL AGUA

El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. En consecuencia el trabajo que los filtros desempeñan, depende directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos preparatorios.

La filtración puede efectuarse en muchas formas: Con baja carga superficial (filtros lentos) o alta carga superficial (filtros rápidos), en medios porosos (pastas arcillosas, papel de filtro) o en medios granulares (arena, antracita, granate o combinados), con flujo ascendente de abajo hacia arriba o descendente de arriba hacia abajo y mixto (parte ascendente o descendente). Por último, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante.

La filtración se identifica por la velocidad del pasaje del agua a través del manto filtrante o del manto poroso, medida como rata¹⁰ o carga superficial, q_F , o sea el cociente entre el caudal, Q , y el área filtrante A_F :

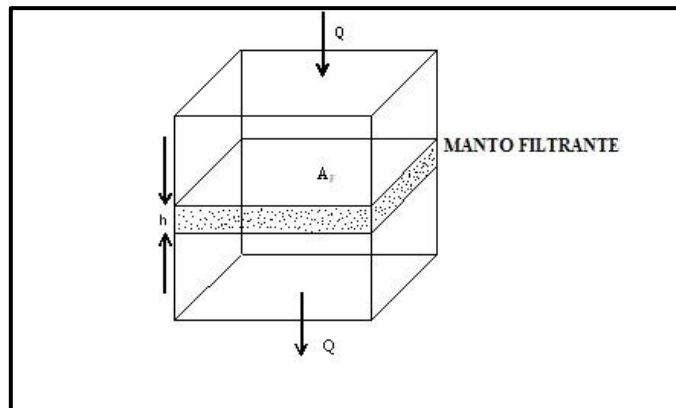
$$q_F = \frac{Q}{A_F}$$

(Ecuación 1.17)

En donde,

A_F = Área superficial

Q = Caudal que entra al filtro



Fuente: ARBOLEDA, J. 2000. Tomo II.

Figura 1.8 Filtración

¹⁰ La palabra rata (del latín: rata, razione) fue aceptada por el diccionario de la Real Academia Española (Anexo 1970) con el sentido de parte proporcional, variación en el tiempo.

1.10.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FILTRACIÓN

Existe una larga lista de factores que en una forma u otra influyen en el proceso de filtración. Podríamos enumerar los siguientes:

- a) Tipo de medio filtrante.
- b) Velocidad de Filtración.
- c) Tipo de suspensión.
- d) Influencia de la temperatura.
- e) Dureza del floc.

a) Tipo de medio Filtrante

El medio filtrante usado en plantas, de tratamiento de agua, está constituido por arena silíceas, antracita, granate o una combinación de dichos materiales. La forma tiene importancia no sólo en el aspecto hidráulico (pérdida de carga inicial) sino por la relación superficie a volumen, ya que el proceso de la filtración tiene relación directa con el área de los granos.

Por la misma razón la eficiencia, λ , es inversamente proporcional al diámetro de las partículas, así:

$$\lambda \propto \frac{1}{d^n}$$

En donde n es un coeficiente al que los autores asignan un valor de 3, 2.5, 2.17, 1.67 y 1, sin que existe ningún acuerdo al respecto.

b) Velocidad de Filtración

La velocidad de filtración es inversamente proporcional a la eficiencia, así:

$$\lambda \propto \frac{1}{v^n}$$

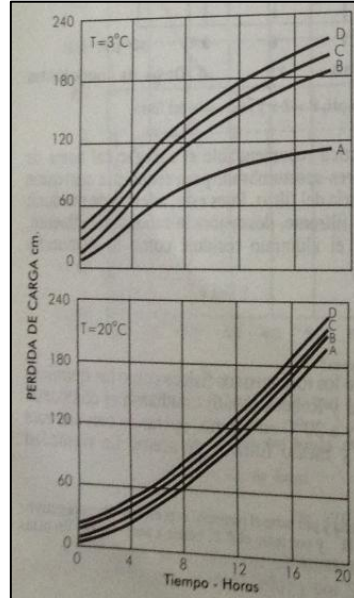
En donde a n se le asigna un valor de 0.7 a 1.

c) Tipo de suspensión

Las características físicas y químicas de la suspensión afectan en forma notable el comportamiento de los filtros. En muchos casos resultan más importantes para obtener una determinada calidad de efluente, que el tamaño y clase del medio filtrante usado, ya que el mismo filtro trabajando a la misma velocidad puede producir agua con mayor o menor turbiedad, según sea el tipo de suspensión que reciba.

d) Influencia de la temperatura

La temperatura del agua afecta tanto los mecanismos físicos como los químicos que intervienen en la filtración. Dostal y Robeck (1996) estudiaron el comportamiento de un filtro a 3°C en invierno y a 20°C en verano, operando con una rata normal de 2 gpm/g²



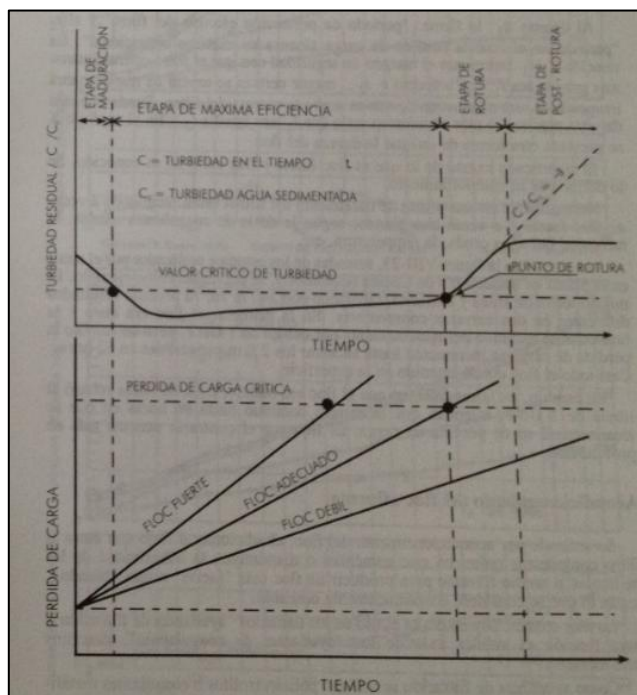
Fuente: ARBOLEDA, J. 2000. Tomo II.

Figura 1.9 Influencia de la temperatura en la longitud de la carrera de filtración (según Dostal y Robeck).

Para el mismo tiempo de filtración, la pérdida de carga fue generalmente menor a 3°C que a 20°C, probablemente debido a una más lenta remoción del floc a menor temperatura. La separación de las curvas A y B en el diagrama superior, está indicando, por otro lado, que a 3°C el floc se depositaba menos en la superficie que a 20°C.

e) Dureza del floc

Todos los factores anteriormente discutidos son en conjunto responsables del comportamiento del filtro, el cual sólo puede producir agua con determinada calidad durante un período fijo, a partir del cual el floc empieza a aparecer en el efluente. Este momento se llama punto de rotura. El filtro inicialmente tiene un período de maduración en que la turbiedad es alta. Después sigue un período de buena calidad y por último el de paso del floc a través del lecho.



Fuente: ARBOLEDA, J. 2000. Tomo II.

Figura 1.10 Forma de trabajo de un filtro

Tres condiciones pueden entonces considerarse en una carrera: 1) Que la máxima turbiedad efluente permisible se produzca antes de que se alcance la máxima pérdida de carga $t_1 < t_2$; 2) Que se produzca después que la máxima pérdida de carga $t_1 > t_2$; 3) Que se produzca al mismo tiempo $t_1 = t_2$.¹¹

El primer caso los autores se refieren como “floc blando”, al segundo como “floc fuerte” y al tercero como “floc adecuado”.

1.11 DESINFECCIÓN

La desinfección es una operación de importancia incuestionable para el suministro de agua potable. La destrucción de microorganismos patógenos es una operación fundamental que muy frecuentemente se realiza mediante productos químicos reactivos como el cloro. La desinfección constituye una barrera eficaz para numerosos patógenos (especialmente las bacterias) durante el tratamiento del agua de consumo y debe utilizarse tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas. La desinfección residual se utiliza como protección parcial contra la contaminación con concentraciones bajas de microorganismos y su proliferación en el sistema de distribución.

La eficacia de la desinfección puede también ser insatisfactoria frente a patógenos presentes en flóculos o partículas que los protegen de la acción del desinfectante. Una turbidez elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y generar una demanda significativa de cloro.

El uso de productos químicos desinfectantes en el tratamiento del agua genera habitualmente subproductos. No obstante, los riesgos para la salud que ocasionan estos subproductos son extremadamente pequeños en comparación con los asociados a una desinfección insuficiente, y es importante que el intento de controlar la concentración de estos subproductos no limite la eficacia de la desinfección.

¹¹ ARBOLEDA., J. (2000). Teoría y Práctica de la Purificación del Agua., 3.a.ed., Bogotá – Colombia., Editorial Mc. Graw Hill. Tomo II. pp: 364-582

Puede medirse y controlarse fácilmente la concentración de algunos desinfectantes del agua de consumo, como el cloro, y se recomienda realizar análisis frecuentes si se practica la cloración del agua.¹²

1.11.1 CLORACIÓN

La cloración puede realizarse mediante cloro gas licuado, solución hipoclorito sódico o gránulos de hipoclorito cálcico, mediante generadores de cloro *in situ*. El gas cloro licuado se suministra comprimido en recipientes a presión. Un clorador extrae el gas del cilindro y lo añade al agua en forma dosificada, simultáneamente controlando y midiendo el caudal de gas. La solución de hipoclorito sódico mediante una bomba dosificadora eléctrica de desplazamiento positivo o mediante un sistema de suministro por gravedad. El hipoclorito cálcico debe disolverse en una porción de agua y luego mezclarse con el caudal principal. El cloro, ya sea en forma de gas cloro de un cilindro, de hipoclorito cálcico, se disuelve en el agua en forma ión hipoclorito (OCl^-) y ácido hipocloroso (HOCl).

Pueden utilizarse diversas técnicas de cloración, como son la cloración a la dosis crítica (*breakpoint*), la cloración marginal y la supercloración-descloración. La cloración a la dosis crítica es un método en el que se aplica una dosis de cloro suficiente para oxidar rápidamente todo el nitrógeno amónico presente en el agua y dejar una concentración adecuada de cloro libre residual para proteger el agua de la recontaminación entre el punto de cloración y el punto de consumo. La supercloración-descloración consiste en añadir una dosis grande de cloro para lograr una reacción química y desinfección rápidas, seguida de una reducción del exceso de cloro residual. Es importante eliminar el exceso de cloro para evitar problemas organolépticos. Se utiliza principalmente cuando la carga bacteriana es variable o cuando el tiempo de retención en un depósito es insuficiente. La cloración marginal se utiliza en los sistemas de abastecimiento de agua de calidad alta y consiste

¹² Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). Guías para la calidad del agua potable. Volumen I. Tercera Edición. pp:14

simplemente en añadir una dosis de cloro que genere la concentración deseada de cloro libre residual.

La finalidad principal de la cloración es la desinfección microbiana. No obstante, el cloro actúa como oxidante y puede eliminar o ayudar a eliminar algunas sustancias químicas, puede oxidar especies disueltas, como el manganeso II, y formar productos insolubles que pueden eliminar mediante una filtración posterior.¹³

Para el cálculo de la cantidad de cloro requerido por día se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de HTH (lb/día)} = 0,012 * Q * C$$

(Ecuación 1.18)

Donde:

Q= Caudal (gpm)

C= Concentración (1.5 mg/l)

1.12 OPTIMIZACIÓN

Optimización es el proceso de hacer algo mejor, consiste del tratamiento de las variaciones de un concepto inicial y usar la información obtenida para mejorar la idea. El término “mejor” solución implica que hay más de una solución y que cada solución no tiene valores iguales. La definición de “mejor” es relativa al problema que se está manejando, su método de solución y las tolerancias permitidas. Luego entonces la solución óptima depende de la formulación personal del problema.

¹³ Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). Guías para la calidad del agua potable. Volumen I. Tercera Edición. pp:147

1.12.1 GENERALIDADES

La Optimización de procesos es fundamental para garantizar el desempeño eficiente y eficaz de las plantas de proceso, y que por medio de simulación de procesos permiten representar, evaluar y proponer acciones de mejora de procesos y equipos.¹⁴

La operación de una planta de tratamiento es costosa. Los procesos complejos consumen mucha de energía y productos químicos. La optimización de los procesos puede reducir el costo operacional en, normalmente, entre un 10 y 40%. Asimismo, se puede aumentar la capacidad hasta en un 25%. El rápido desarrollo urbano y el aumento de la conciencia ambiental pusieron a las plantas de tratamiento bajo una gran presión por el aumento del volumen a ser tratado. En algunas áreas el efecto del cambio climático contribuye con esta situación.¹⁵

La operación de una planta determina las características específicas de sus instalaciones, la calidad del agua y el caudal a tratar. En general las actividades de operación se clasifican en:

- Regulación de caudales.
- Dosificación de los productos químicos
- Control de procesos.
- Lavado de filtros y purga de lodos.

1.12.2 REGULACIÓN DE CAUDALES

La planta de tratamiento y cada una de sus unidades de tratamiento tienen una capacidad determinada en el diseño. La capacidad se mide en unidades de caudal, en Lt/seg o M3/seg.

¹⁴ (2013). Optimización de procesos. Consultado el 28 de septiembre del 2013, Engineering & Business process consultants : <http://www.ebpc.com.mx/optimizacion-de-procesos.html>

¹⁵ Tratamiento de agua. (2013). Consultado el 28 de septiembre del 2013, DHI, página web de soluciones profesionales: <http://www.dhi.es/Solutions/WaterUtilities/WaterAndWastewaterTreatment.aspx>

Si el caudal que entra a la planta o a una de sus unidades sobrepasa su capacidad, el agua no sale bien tratada. En conclusión, la regulación de los caudales es fundamental para el buen funcionamiento de la planta. El caudal se regula operando las válvulas o compuertas de entrada la altura o abertura debe estar definida para los caudales que se quieran tratar. En algunas ocasiones es necesario bajar el caudal, por ejemplo: Cuando el agua llega muy sucia o cuando baja el consumo.

1.12.3 DOSIFICACIÓN DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS

Para el tipo de agua que llega a la planta debe realizarse el ensayo de jarras de dosis óptima para determinar la dosis a aplicar, calcular la descarga del químico para todo el caudal de agua cruda y cuadrar equipos dosificadores para la descarga calculada. Cada uno de estos pasos debe realizarse con precisión para garantizar que todas las unidades van a funcionar eficientemente.

En todo momento se debe saber cómo está funcionando cada unidad de planta. Para ello se requiere realizar periódicamente las siguientes actividades:

- a) Toma de muestra de agua coagulada y observar en el equipo de jarras el tipo del flóculo que se forma y el tiempo de formación.
- b) Toma de muestra de agua floculada y observar el flóculo en formación.
- c) Toma de muestra de agua sedimentada determinación de turbiedad, color, pH y alcalinidad.
- d) Toma de muestra de agua filtrada, determinación de turbiedad, color y pH.
- e) Toma de muestra de agua dorada, determinación residual de cloro.

1.12.4 ENSAYO DE JARRAS

Es un ensayo que trata de simular las condiciones en que se realizan el proceso de coagulación y de sedimentación. Se constituye en la principal herramienta de trabajo para el control de la operación de las plantas

De acuerdo con los resultados de este ensayo se deben dosificar los miligramos por litro (mg/l), que dará una máxima calidad de agua con el mínimo consumo de coagulantes.

1.12.4.1 Objetivo del ensayo de jarras

El ensayo de jarras es de óptima utilidad porque determina:

- La dosis de coagulantes que se debe aplicar en la planta.
- El pH óptimo de coagulación, este es el pH que permite la formación de los flóculos y no es igual para todas las aguas.

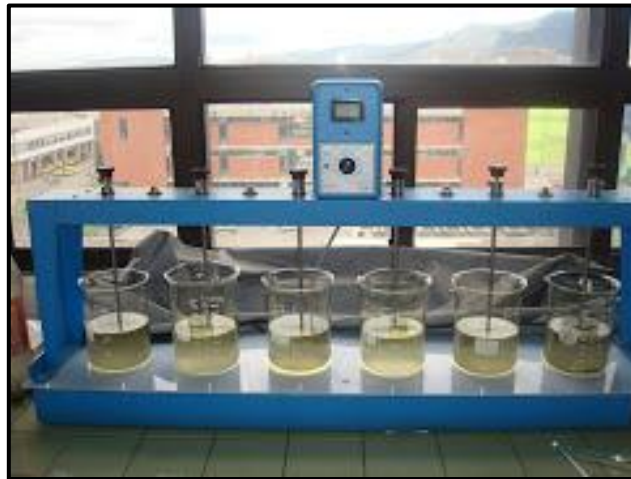


Figura 1.11 Test de Jarras

Existen algunas variaciones en el equipo para efectuar esta prueba pero por lo general consta de lo siguiente:

- Un agitador mecánico.
- Vaso de precipitados.

1.12.4.2 Como hacer el ensayo

El procedimiento para llevar a cabo el ensayo de las jarras es el siguiente:

- Utilice un balde, tome una muestra de agua cruda en el sitio de entrada a la planta y determine la turbiedad, el color, el pH, y la alcalinidad.
- Los vasos de precipitado estarán previamente aforados para un litro de agua (1.000 mL). Llene cada uno con la muestra de agua cruda analizada

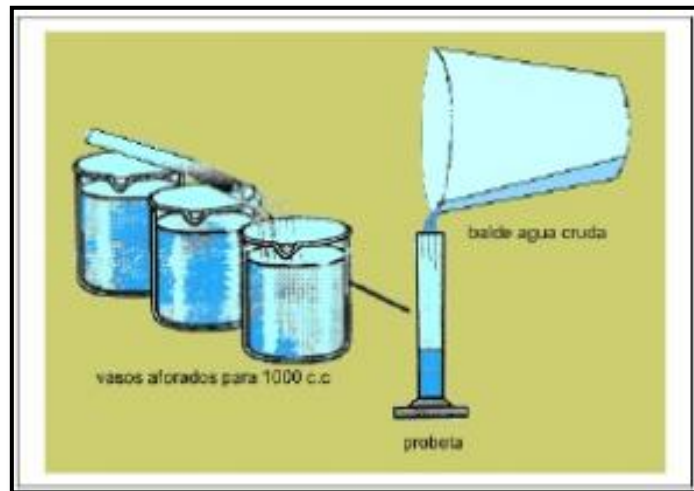


Figura 1.12 Procedimiento de Test de Jarras

- Coloque los baffles deflectores e introduzca las paletas del aparato mezclador de jarras, de manera que estén bien centradas.



Figura 1.13 Procedimiento con las paletas

- Introduzca las paletas en los vasos Dosifique con una pipeta graduada los miligramos por litro (mg/lt), que correspondan a cada vaso del ensayo y si es necesario, (por experiencia) tome el pH en cada vaso y haga su acondicionamiento al pH óptimo de coagulación, normalmente adicionando cal para aumentar la alcalinidad. Regular las R.P.M (revoluciones por minuto) de la mezcla rápida de la planta o en su defecto a 100 r.p.m.
- Comenzamos a contar el tiempo transcurrido hasta llegar a un minuto y reduzca la velocidad correspondiente a la velocidad de los floculadores de la planta, o en su defecto a 40 durante 19 minutos.
- Durante este tiempo (19 minutos), aparecen los “flocs” se acondicionan y se forman en el tiempo de mezcla lenta. Pare el mezclador y retire las paletas de las jarras.
- Esperamos unos veinte minutos (20 mm) y observe la clarificación en cada vaso y el floc sedimentado.

Al cabo de este tiempo, tome muestras del líquido clarificado con cuidado de no remover el floc sedimentado y determine el pH, color y turbiedad.

La dosis óptima de coagulante será el resultado de la dosis para la cual se obtiene un floc acondicionado, con peso mayor que sedimenta rápidamente y en el que se obtiene la menor turbiedad y el menor color.

1.12.4.3 Precauciones que se deben tener en cuenta

El hecho de que la Prueba de Jarras sea una actividad rutinaria en la operación de las plantas significa que pueda realizarse con descuido, lo que desafortunadamente suele ser lo común. En una Prueba de Jarra deben observarse las siguientes precauciones:

- a) Respecto a las soluciones: Deben prepararse todos los días con el producto que se va a aplicar.

- b) Respecto al volumen de las Jarras: Medir el volumen cuidadosamente, todos los vasos deben contener el mismo volumen. Mejores resultados se obtienen con volúmenes mayores, en lo posible de dos litros.
- c) Respecto de la temperatura: La prueba debe realizarse a la misma temperatura del agua en la planta de tratamiento.
- d) Respecto a la adición de coagulantes: Los coagulantes deben suministrarse en el mismo orden en que se agregan en la planta de tratamiento y simultáneamente todas las jarras.
- e) Respecto de la velocidad de rotación: Se debe tratar de encontrar una energía de agitación que produzca un resultado comparable al de la planta, aunque como ya se dijo antes, nunca podrá ser comparable con el efecto de los mezcladores y floculadores.
- f) Respecto a la forma de hacer el ensayo: Los recipientes (vasos baldes) en los cuales se van a tomar las muestras deben lavarse previamente con la misma agua que se va a utilizar en el ensayo.
- g) Respecto al tiempo de agitación: Se deben conocer los tiempos de agitación, floculación y sedimentación de la planta para determinarlos para el ensayo.

Evitar que las manos, y los elementos que se van a utilizar en el ensayo alteren las condiciones físico-químicas de los materiales y equipos que se van a utilizar (frascos, pipetas, etc.).¹⁶

¹⁶ Operación de tratamiento de aguas. (1999). Consultado el 28 de septiembre del 2013, de: <http://es.scribd.com/doc/16986036/Operacion-de-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas>

CAPÍTULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MUESTREO

2.1.1 LOCALIZACIÓN

La Optimización del Sistema de Tratamiento de Agua Potable “San Lorenzo” se desarrolló en la planta de agua potable, ubicada en la parroquia San Lorenzo, perteneciente a la cantón Guaranda, provincia de Bolívar.

2.1.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se inició con la identificación de cada proceso de la Planta de Agua Potable. De esta manera, por medio del método de análisis, se estableció la relación causa-efecto entre los elementos que componen el objeto de investigación; por lo que se realizó la caracterización en las distintas etapas: captación, durante el proceso de potabilización, y en la distribución; esto, con el fin de relacionar los datos y determinar el estado de la planta.

2.1.3 PLAN DE MUESTREO

Se realizó un cronograma de recolección de muestras en 4 semanas, en cada semana se hizo una toma de muestras, indistintamente el día. Los análisis físico-químicos y microbiológicos se los realizó en el laboratorio de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “Chaquishca”.

En consideración a la Norma INEN 2 169:98, “Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras”; y una vez analizado los procesos que van hacer intervenidos para la optimización, se tomaron las muestras, como se puede ver en el Cuadro 2.1.:

Cuadro 2.1 Identificación de Muestras

PROCESO	ENSAYOS	N° DE MUESTRAS	DENOMINACIÓN
Alimentación a la planta	Físico-Químicos Microbiológicos	2	1A -2B
Sedimentación	Físico-Químicos Microbiológicos	2	1C-2D
Filtración	Físicos-Químicos Microbiológicos	2	1E-2F
Cloración	Físico- Químicos Microbiológicos	2	1G-2H
Distribución	Físico- Químicos Microbiológicos	2	1K-2L

Fuente: Autor

Después de obtenida la muestra se realizan los análisis físico-químicos en el laboratorio de control de calidad en la Planta de Tratamiento de Agua Potable “Chaquishca”.

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN

Los recipientes usados en la toma de muestras fueron de plástico, donde primero se homogenizó la muestra, para proceder a llenarlo y luego al respectivo análisis. Primero realizamos los análisis físicos, para continuar con los químicos y microbiológicos. Para la toma de muestra microbiológica debe tomarse un recipiente esterilizado. En muestras que se van a utilizar para la determinación de parámetros físicos y químicos, los frascos se llenan completamente y se tapan de tal forma que no exista aire sobre la muestra; lo contrario para las muestras que se van a utilizar en el análisis microbiológico, los

recipientes, no deben llenarse completamente de modo que se deje un espacio de aire después de colocada la tapa, ya que permitirá mezclar la muestra antes del análisis y evitar contaminación accidental.

Las muestras microbiológicas fueron transportadas en un cooler debidamente acondicionado, donde se las preservó hasta que se realizara las pruebas respectivas. Las muestras físico-químicas fueron trasladadas normalmente ya que se realizaron los análisis una hora después de ser tomadas.



Figura 2.1 Conservación de muestras

2.2.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS

Los recipientes que contienen las muestras fueron marcados de una manera clara y permanente, permitiendo la identificación sin error. Anotando, en el momento del muestreo, todos los detalles que ayuden a una correcta interpretación de los resultados (fecha y hora del muestreo, nombre de la persona que muestreó, tipo de análisis a realizarse, localización), como se puede ver en el Anexo 3.

2.2.3 TRATAMIENTO DE MUESTRAS

En los diferentes puntos de muestreo se tomó 1 muestra semanal, durante 4 semanas, con las cuales se realizó la caracterización, teniendo como resultado 29 parámetros analizados, los mismos que se especifican en el Cuadro 2.2.

Cuadro 2.2 Parámetros de caracterización del Agua Potable de Chimbo

Nº	PARÁMETRO	UNIDADES
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
1	COLOR	UTC
2	TURBIEDAD	NTU
3	Ph	.....
4	CONDUCTIVIDAD	uS/cm
5	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L
6	TEMPERATURA	° C
INORGÁNICOS		
7	NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L
8	NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L
9	FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L
10	NITROGENO AMONIACAL (NH ₃ -N)	mg/L
11	SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L
12	FLUORUROS (F)	mg/L
13	HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L
14	MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L
15	CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L
16	COBRE (Cu)	mg/L
17	DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L
18	COLOR LIBRE RESIDUAL (Cl ₂)	mg/L
19	ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L
20	CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L
21	NIQUEL (Ni)	mg/L
22	COBALTO (Co)	mg/L
23	PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L
24	ZINC (Zn ²⁺)	mg/L
25	PLATA (Ag ⁺)	mg/L
26	CIANURO (CN ⁻)	mg/L
27	OXIGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L
MICROBIOLÓGICOS		
28	ESCHERICHIA COLI	NMP/100 mL
29	COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL

Fuente: Norma INEN 1108: 2006, Segunda Revisión

2.2.4 MÉTODOS

Los métodos de ensayo utilizados para los análisis que se desarrollaron en el laboratorio son métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods for Examination of water and wastewater) especificados en su última edición; además del Manual de Análisis de Agua, métodos HACH.

Cuadro 2.3 Métodos de análisis

DETERMINACIÓN	MÉTODO	DESCRIPCIÓN
Color	Comparativo	Se toma una muestra en un recipiente del comparador y en el otro se coloca agua destilada, seguido se procede a la lectura.
Turbiedad	Nefelométrico	Mediante el electrodo de cristal del equipo, se lee y se registra el valor obtenido.
Ph	Potenciométrico	Mediante el electrodo de cristal del equipo, se lee y se registra el valor obtenido.
Solidos Totales Disueltos	Electrométrico	Mediante el electrodo de cristal del equipo, se lee y se registra el valor obtenido.
Conductividad	Electrométrico	Mediante el electrodo de cristal del equipo, se lee y se registra el valor obtenido.
Aluminio	Espectrofotométrico	Tomar 25 ml de muestra en tubo de inversión, colocar los reactivos que indica el manual y registrar los resultados.
Dureza	Volumétrico	Se toma 25 ml de la muestra, seguido de 1ml de solución tampón, más una pizca de negro de eriocromo T en polvo, y titular con EDTA 0.02 N
Nitratos Nitritos Fosfatos Cloruros Cloro Libre Residual Bromo Cobre Cromo Sulfatos Hierro Níquel Cobalto	Espectrofotométrico	Tomar 10 ml de muestra, colocar los reactivos indicados en el manual y registrar los resultados.

(Continuación)

Cuadro 2.4 Métodos de análisis

DETERMINACIÓN	MÉTODO	DESCRIPCIÓN
Fluoruro Manganeso Nitrógeno Amoniacal	Espectrofotométrico	Tomar 10 ml de muestra, y 10 ml de agua destilada para el blanco, colocar los reactivos indicados en el manual y registrar los resultados obtenidos.
Plata Cianuro Zinc Plomo	Fotómetro	Colocar los reactivos indicados en el manual y registrar los resultados
Escherichia Coli Coliformes Totales	Sembrado	Se esteriliza el equipo microbiológico para la filtración, se toma 50 ml de muestra y se procede a filtrar, se vierte el reactivo y se siembra a la temperatura correspondiente.

Fuente: Autor

2.2.5 AFORO

Para la determinación del caudal de entrada y salida de la planta de tratamiento de agua potable, se ubicó dentro de la misma un dispositivo (vertedero) para el aforo. A la entrada y salida de la planta de tratamiento, existen vertederos de 60° que nos facilitó la medición; tomando también en cuenta el flujo de agua que es desviada por una tubería hacia floculador directamente; esta tubería la rehabilitan cuando necesitan abastecerse con mayor cantidad de agua. Sumando caudales se obtiene el caudal máximo de la planta. El aforo en la tubería se lo hizo por medio de dos métodos, el primero tomando medidas para utilizar la Ecuación 1.2, y la segunda mediante el método volumétrico

Tabla 2.1 Datos de aforo mediante el método volumétrico

Volúmenes	V	T	Q (lt/s)
v1	2,22	0,9	2,467
v2	3,06	0,4	7,650
v3	1,84	0,6	3,067
v4	3,1	0,5	6,200
v5	3,1	0,4	7,750
v6	3,2	0,3	10,667
		ΣQ	6,300

FUENTE: Autor

2.3 DATOS EXPERIMENTALES

2.3.1 DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA PLANTA

El Sistema de Tratamiento de Agua Potable “San Lorenzo”, recoge principalmente las aguas del río Guapungoto, siendo la única fuente que abastece a la planta. El agua llega a la Planta de forma entubada por tubería PVC; al llegar a la misma existe un by-pass para poder desviar el agua cuando llega con altos rangos de turbidez, y esto se conduce hacia los terrenos como agua de riego. Actualmente el sistema cuenta con las siguientes etapas:

- Dosificación de químicos
- Una pequeña etapa de oxigenación
- Coagulación Floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Dosificación (post-cloración)

Se hizo un recorrido por cada proceso con el Ingeniero a cargo de la Planta, donde se pudo establecer en un inicio las falencias de la planta. Posteriormente en un análisis de la eficiencia de la planta y de cada uno de sus procesos se pudo constatar el problema principalmente en la etapa de sedimentación.

2.3.1.1 Procesos de la planta

2.3.1.1.1 Floculador

Existen dos floculadores, los mismos que son de tipo serpentín, que cumplen la función de agrupar las pequeñas partículas (flóculos), que provocan color y turbiedad en el agua.



Fuente: Autor

Figura 2.2 Floculadores de serpentin

Mediante la incorporación de sustancias químicas, se consigue que las partículas neutralicen sus cargas electrostáticas y se formen los *flocs*. La agrupación de estas pequeñas partículas hara que aumenten de peso propiciandoo su caída al fondo del sedimentador, mientras recorre todo el trayecto del floculador.

Tabla 2.2 Eficiencia en base a la turbidez en época de verano

FECHA	TURBIDEZ EN EL FLOCULADOR		EFICIENCIA (%)
	ENTRADA	SALIDA	
16/08/2013	1,5	1,1	26,67
19/08/2013	1,09	1,02	6,42
29/08/2013	1,16	1,03	11,21
02/09/2013	1,18	1,05	11,02
17/09/2013	2,45	1,35	44,90

Fuente: Autor

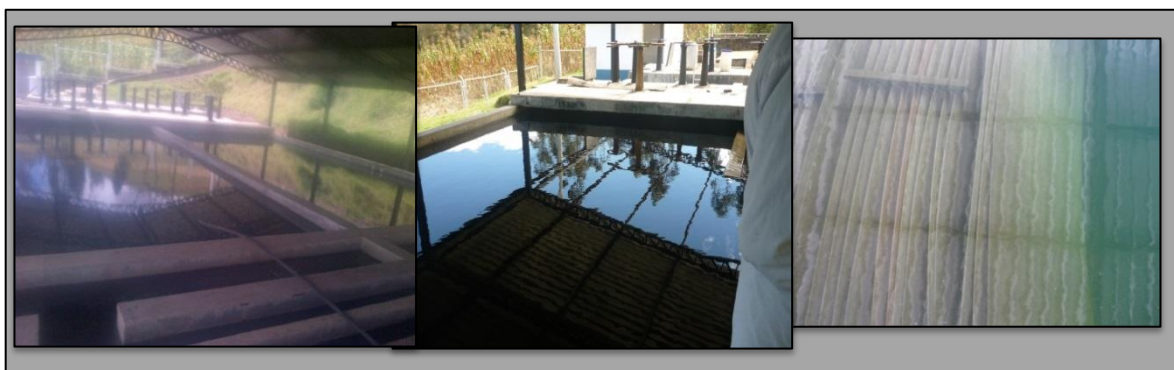
Tabla 2.3 Eficiencia en base a la turbidez en época de invierno

FECHA	TURBIDEZ EN EL FLOCULADOR		EFICIENCIA (%)
	ENTRADA	SALIDA	
14/10/2013	3,65	1,9	47,95
22/10/2013	40,7	35,8	12,04
28/10/2013	14,8	9,04	38,92

Fuente: Autor

2.3.1.1.2 Sedimentador

La planta cuenta con 2 sedimentadores adosados, las dimensiones de cada uno son 10.34 m de longitud, 4.88 m de ancho, 4.4 m de profundidad.



Fuente: Autor

Figura 2.3 Sedimentadores laminares

Actualmente estos tanques cuentan con placas planas de 1.22 m de longitud, 2.35 m de ancho, las mismas que cumplieron su tiempo de vida útil. Cada sedimentador cuenta con 2 filas de placas planas, sin un número exacto; en el Cuadro 2.4, podemos ver la distribución actual de las placas en cada sedimentador.

Cuadro 2.5 Datos de placas en cada sedimentador

SEDIMENTADOR	FILA	N° Placas planas
1	1	67
	2	75
2	1	73
	2	78

Fuente: Autor

Se tomó las mediciones de los sedimentadores para establecer el número de placas factibles para aumentar la eficiencia en las mismas.

Tabla 2.4 Eficiencia en base a la turbidez en época de verano

FECHA	TURBIDEZ EN EL SEDIMENTADOR		EFICIENCIA (%)
	ENTRADA	SALIDA	
16/08/2013	1,1	1,39	-26,36
19/08/2013	1,02	1,19	-16,67
29/08/2013	1,03	1,3	-26,21
02/09/2013	1,05	1,5	-42,86
17/09/2013	1,35	1,22	9,63

Fuente: Autor

Tabla 2.5 Eficiencia en base a la turbidez en época de invierno

FECHA	TURBIDEZ EN EL SEDIMENTADOR		EFICIENCIA (%)
	ENTRADA	SALIDA	
14/10/2013	1,9	1,81	4,74
22/10/2013	35,8	36,01	-0,59
28/10/2013	9,04	9,03	0,11

Fuente: Autor

2.3.1.1.3 Filtros

La planta cuenta con cinco filtros de arena, cuyas dimensiones son 2.50 m de longitud, 1.80 m de ancho, 5.39 m de profundidad. El agua sedimentada llega hasta los filtros donde pasa a través de sucesivas capas de arena de distinto grosor, donde sale casi prácticamente potable. La función de los filtros es de retener aquellas partículas que no han sido sedimentadas complemente.



Fuente: Autor

Figura 2.4 Filtros de arena

En el sistema de tratamiento, los filtros son los más eficientes dentro de cada proceso, como se puede constatar en la Tabla 2.6 y 2.7.

Tabla 2.6 Eficiencia en base a la turbidez en época de verano

FECHA	TURBIDEZ EN LOS FILTROS		EFICIENCIA (%)
	ENTRADA	SALIDA	
16/08/2013	1,39	0,88	36,69
19/08/2013	1,19	1,02	14,29
29/08/2013	1,3	0,45	65,38
02/09/2013	1,5	1,01	32,67
17/09/2013	1,22	0,98	19,67

Fuente: Autor

Tabla 2.7 Eficiencia en base a la turbidez en época de invierno

FECHA	TURBIDEZ EN LOS FILTROS		EFICIENCIA (%)
	ENTRADA	SALIDA	
14/10/2013	1,81	1,47	18,78
22/10/2013	36,01	3,32	90,78
28/10/2013	9,03	3,05	66,22

Fuente: Autor

2.3.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO

La caracterización del agua se la hizo en la alimentación a la planta (agua cruda), en los sedimentadores, a la salida de los filtros, después de la cloración y en la distribución del agua tratada. Se realizaron análisis físicos-químicos y microbiológicos, durante 5 semanas, una caracterización semanal, indistintamente el día.

Los resultados son los presentados en las tablas siguientes:

Tabla 2.8 Caracterización Físico-Química del Agua en el sistema de tratamiento. Semana 1

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR 1	SEDIMENTADOR 2	SALIDA FILTROS	DESPUES CLORACION	DISTRIBUCION SAN LORENZO	LÍMITES PERMISIBLES
		1A-2B	1C	2D	1E-1F	1G-2H	1K-2L	
		09/09/2013						
		07H45	07H54	07H56	07H59	08H00	08H10	
		RESULTADOS						
COLOR	UTC	1.00	4.00	6.00	1.00	1.00	1.00	15
TURBIEDAD	NTU	0.90	1.40	1.70	0.40	0.35	0.38	5
pH	.....	6.57	6.60	6.66	6.75	6.90	6.97	6,5-8,5
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	120.43	150.50	152.34	101.76	70.54	71.56	-
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	80.33	95.78	96.12	70.34	42.67	41.90	1000
TEMPERATURA	° C	14.78	14.80	14.76	14.80	14.70	14.43	-
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	1.12	1.15	1.11	1.10	1.08	1.14	10
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0.009	0.008	0.009	0.004	0.004	0.006	0
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.45	0.48	0.50	0.36	0.34	0.39	0,1
NITROGENO AMONICAL (NH ₃ -N)	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	200
FLUORUROS (F)	mg/L	0.43	0.47	0.49	0.35	0.31	0.40	1,5
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0.10	0.12	0.15	0.09	0.10	0.19	0,3
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0.006	0.008	0.008	0.005	0.007	0.006	0,1
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0.007	0.009	0.009	0.004	0.008	0.009	0,05

COBRE (Cu)	mg/L	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	1
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	150.00	151.00	153.00	140.00	145.00	147.00	300
CLORO LIBRE RESIDUAL (Cl ₂)	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.90	0.70	0,3 1,5
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0.008	0.007	0.007	0.005	0.006	0.007	0,25
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	2.43	2.48	2.50	2.26	2.15	2.30	250
NIQUEL (Ni)	mg/L	0.006	0.008	0.008	0.007	0.008	0.007	0,02
COBALTO (Co)	mg/L	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0,2
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0,01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	3
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	< 0.007	< 0.007	< 0.007	< 0.007	< 0.007	< 0.007	0,05
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	0

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad EMAPA-G.

Tabla 2.9 Caracterización Físico-Química del Agua en el sistema de tratamiento. Semana 2

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA CRUDA	SEDIMEN TADOR 1	SEDIMEN TADOR 2	SALIDA FILTROS	DESPUES CLORACION	DISTRIBUCION SAN LORENZO	LÍMITES PERMISIBLES
		1A-2B	1C	2D	1E-1F	1G-2H	1K-2L	
		17/09/2013						
		07H00	07H12	07H24	07H35	07H54	08H15	
RESULTADOS								
COLOR	UTC	2	4.00	6.00	1.00	1.00	1.00	15
TURBIEDAD	NTU	2.45	1.35	1.22	0.98	0.45	0.45	5
pH	.....	7.01	6.98	6.98	7.01	7.68	7.68	6,5-8,5
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	123.23	152.45	153.48	100.36	82.45	83.64	-
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	92.73	100.36	183.48	82.36	65.35	56.27	1000
TEMPERATURA	° C	13.5	13.6	14.01	14.74	14.79	14.59	-
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	1.4	1.23	1.23	1.25	1.09	1.05	10
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.09	0.08	0.09	0.05	0.08	0.05	0,1
NITROGENO AMONICAL (NH ₃ -N)	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	-
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	2.00	2.04	2.93	2.03	2.20	2.14	200
FLUORUROS (F)	mg/L	0.63	0.73	0.71	0.61	0.52	0.50	1,5
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0.10	0.12	0.15	0.09	0.10	0.19	0,3
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0.007	0.008	0.008	0.005	0.007	0.006	0,1
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0.008	0.009	0.009	0.004	0.008	0.009	0,05
COBRE (Cu)	mg/L	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	1
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	127.0	151.00	153.00	140.00	145.00	147.00	300
CLORO LIBRE RESIDUAL (Cl ₂)	mg/L	0.03	0.02	0.3	0.3	0.90	0.70	0,3 1,5
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0,25
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	3.25	2.48	2.50	2.26	2.15	2.30	250

NIQUEL (Ni)	mg/L	0.01	0.008	0.008	0.007	0.008	0.006	0,02
COBALTO (Co)	mg/L	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0,2
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0,01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	3
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	< 0.003	< 0.002	< 0.003	< 0.002	< 0.001	< 0.001	0,05
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0
ESCHERICHIA COLI	NMP/100 mL	10	15	12	11	< 1*	< 1*	< 2*
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	9	8	10	7	< 1*	< 1*	< 2*

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad EMAPA-G.

Tabla 2.10 Caracterización Físico-Química del Agua en el sistema de tratamiento. Semana 3

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR 1	SEDIMENTADOR 2	SALIDA FILTROS	DESPUES CLORACION	DISTRIBUCION SAN LORENZO	LÍMITES PERISIBLES	
		1A-2B	1C	2D	1E-1F	1G-2H	1K-2L		
		24/09/2013							
		07H15	07H22	07H31	07H46	07H53	08H25		
RESULTADOS									
COLOR	UTC	1.00	4.00	6.00	1.00	1.00	1.00	15	
TURBIDIDAD	NTU	1.84	1.72	1.73	0.67	0.65	0.51	5	
Ph	.....	6.97	6.99	7.01	7.72	7.12	7.18	6,5-8,5
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	162.00	143.93	135.4	100.13	81.92	82.38	-	
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	80.33	95.78	96.12	70.34	65.43	67.97	1000	
TEMPERATURA	° C	14.72	14.27	13.54	13.92	14.2	14.3	-	
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	1.12	1.15	1.11	1.10	1.08	1.14	10	
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0.008	0.008	0.009	0.004	0.004	0.006	0	
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.004	0.48	0.50	0.36	0.34	0.39	0,1	
NITROGENO AMONICAL (NH ₃ -N)	mg/L	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	-	
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	2.00	5.00	4.50	1.00	1.00	1.00	200	
FLUORUROS (F)	mg/L	1.13	1.09	0.98	0.67	0.56	0.47	1,5	
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0.10	0.12	0.15	0.09	0.10	0.19	0,3	
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0.003	0.002	0.003	0.004	0.003	0.003	0,1	
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0.007	0.009	0.009	0.004	0.008	0.009	0,05	
COBRE (Cu)	mg/L	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	1	
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	150.00	151.00	153.00	140.00	145.00	147.00	300	
COLOR LIBRE RESIDUAL (Cl ₂)	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.90	0.70	0,3 1,5	
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0.012	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0,25	
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	2.43	2.48	2.50	2.26	2.15	2.30	250	
NIQUEL (Ni)	mg/L	0.006	0.008	0.008	0.007	0.008	0.007	0,02	
COBALTO (Co)	mg/L	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0,2	
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	< 0.002	< 0.001	< 0.002	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0,01	
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	3	
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	< 0.007	< 0.007	< 0.007	< 0.007	< 0.007	< 0.007	0,05	

CIANURO (CN ⁻)	mg/L	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	0
ESCHERICHIA COLI	NMP/100 mL	21	14	10	10	< 1*	< 1*	< 2*
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	32	25	20	15	< 1*	< 1*	< 2*

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad EMAPA-G.

Tabla 2.11 Caracterización Físico-Química del Agua en el sistema de tratamiento. Semana 4

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR 1	SEDIMENTADOR 2	SALIDA FILTROS	DESPUES CLORACION	DISTRIBUCION SAN LORENZO	LÍMITES PERMISIBLES	
		1A-2B	1C	2D	1E-1F	1G-2H	1K-2L		
		02/10/2013							
		06H35	06H42	06H59	07H21	07H29	07H48		
RESULTADOS									
COLOR	UTC	2.00	4.00	6.00	1.00	1.00	1.00	15	
TURBIEDAD	NTU	1.92	2.61	2.14	1.24	0.88	0.81	5	
pH	.....	6.76	6.60	6.66	6.75	6.90	6.90	6,5-8,5
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	125.92	150.50	152.34	105.39	82.93	71.56	-	
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	82.93	95.78	96.12	70.34	61.29	56.92	1000	
TEMPERATURA	° C	14.78	14.80	14.76	14.80	14.70	14.43	-	
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	1.12	1.15	1.11	1.10	1.08	1.14	10	
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0.009	0.008	0.009	0.004	0.004	0.006	0	
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.03	0.06	0.06	0.02	0.03	0.03	0,1	
NITROGENO AMONICAL (NH ₃ -N)	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	-	
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	200	
FLUORUROS (F)	mg/L	0.43	0.47	0.49	0.35	0.31	0.40	1,5	
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0.10	0.12	0.15	0.09	0.10	0.19	0,3	
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0.006	0.008	0.008	0.005	0.007	0.006	0,1	
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0.007	0.009	0.009	0.004	0.008	0.009	0,05	
COBRE (Cu)	mg/L	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	1	
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	150.00	151.00	153.00	140.00	145.00	147.00	300	
CLORO LIBRE RESIDUAL (Cl ₂)	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.90	0.70	0,3 1,5	
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0.008	0.007	0.007	0.005	0.006	0.007	0,25	
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	2.43	2.48	2.50	2.26	2.15	2.30	250	
NIQUEL (Ni)	mg/L	0.006	0.008	0.008	0.007	0.008	0.007	0,02	
COBALTO (Co)	mg/L	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0,2	
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0,01	
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	3	
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	< 0.007	< 0.007	< 0.007	< 0.007	< 0.007	< 0.007	0,05	
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	0	
ESCHERICHIA COLI	NMP/100 mL	19	21	17	17	< 1*	< 1*	< 2*	
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	29	34	29	28	< 1*	< 1*	< 2*	

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad EMAPA-G.

Tabla 2.12 Caracterización Físico-Química del Agua en el sistema de tratamiento. Semana 5

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA CRUDA	SEDIMENTADOR 1	SEDIMENTADOR 2	SALIDA FILTROS	DESPUES CLORACION	DISTRIBUCION SAN LORENZO	LÍMITES PERISIBLES
		1A-2B	1C	2D	1E-1F	1G-2H	1K-2L	
		28/10/2013						
		07H20	07H27	07H38	07H53	08H07	08H20	
RESULTADOS								
COLOR	UTC	1.00	4.00	6.00	1.00	1.00	1.00	15
TURBIEDAD	NTU	14.8	9.4	9.04	9.03	0.35	0.38	5
pH	.....	6.57	6.60	6.66	6.75	6.90	6.97	6,5-8,5
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	298.24	283.83	281.28	192.83	162.24	100.27	-
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	172.72	162.92	169.02	92.83	83.93	58.92	1000
TEMPERATURA	° C	14.78	14.80	14.76	14.80	14.70	14.43	-
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	1.12	1.15	1.11	1.10	1.08	1.14	10
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0.009	0.008	0.009	0.004	0.004	0.006	0
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.45	0.48	0.50	0.36	0.34	0.39	0,1
NITROGENO AMONIACAL (NH ₃ -N)	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	-
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	200
FLUORUROS (F)	mg/L	0.43	0.47	0.49	0.35	0.31	0.40	1,5
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0.10	0.12	0.15	0.09	0.10	0.19	0,3
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0.006	0.008	0.008	0.005	0.007	0.006	0,1
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0.007	0.009	0.009	0.004	0.008	0.009	0,05
COBRE (Cu)	mg/L	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	1
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	121.82	122.90	122.72	112.92	113.29	113.81	300
CLORO LIBRE RESIDUAL (Cl ₂)	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.90	0.70	0,3 1,5
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0.008	0.007	0.007	0.005	0.006	0.007	0,25
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	2.43	2.48	2.50	2.26	2.15	2.30	250
NIQUEL (Ni)	mg/L	0.006	0.008	0.008	0.007	0.008	0.007	0,02
COBALTO (Co)	mg/L	0.02	0.03	0.01	0.05	0.02	0.02	0,2
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0,01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	< 0.08	3
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	< 0.007	< 0.007	< 0.007	< 0.007	< 0.007	< 0.007	0,05
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	< 0.04	0
ESCHERICHIA COLI	NMP/100 mL	22	13	15	18	< 1*	< 1*	< 2*
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	32	40	45	30	< 1*	< 1*	< 2*

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad EMAPA-G.

2.3.3 PRUEBA DE JARRAS PARA LA TURBIEDAD

La prueba de jarras se lo realizó en el laboratorio de Control de Calidad de EMAPA-G, “Chaquishca”, mediante el Test de Jarras que nos proporcionó la Empresa de Agua Potable de San Miguel. Se utilizó el Policloruro de Aluminio (PAC) y un Auxiliar aniónico (CHEMFLOC)¹⁷. Las turbiedades con las que se realizó la prueba de jarras fueron de acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis y el historial de los informes presentados. Hay que tener en cuenta que la MSDS (Hoja Técnica) del PAC, la dosis máxima para agua potable es de 30 mg/L. El auxiliar aniónico tiene una concentración de 10 ppm. Se hizo pruebas con distintos volúmenes de las soluciones de PAC y el auxiliar aniónico, y se comprobó su eficacia para turbiedades altas.

Se hizo una prueba con turbiedades bajas, pero la eficacia del PAC no se vio evidenciada. El resultado de la prueba de jarras realizada con una turbiedad de 0.863 NTU, donde se utilizó una solución de PAC de 1 ppm a distintos volúmenes, después de aplicada la solución, la mínima turbiedad fue de 0.46 NTU

¹⁷ Floculante primario que acelera la separación de sólidos de los líquidos en las aguas y produce una floculación más grande, más pesada que se instala rápido, deshidrata rápidamente, filtra mejor y mejora la calidad del agua.

CAPÍTULO III

3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 CÁLCULOS

3.1.1 CAUDAL DE CAPTACIÓN

3.1.1.1 Vertedero

El cálculo del caudal en el vertedero se lo hace según la Ecuación 1.1.

$$Q_{entrada\ 1} = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan^{\beta} \frac{H^5}{2}$$

DATOS

$$\beta = 60^\circ$$

$$C_d = 0.50 - 0.54 \text{ (media) (Tabla 1.1)}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$H = 27 \text{ cm} = 0,27\text{m}$$

$$Q_{entrada\ 1} = 0.02685 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.1.1.2 Para tuberías parcialmente llena

Para determinar el caudal en una tubería, se lo hace a través de la Ecuación 1.2.

$$Q = \varphi \left(0.555 + \frac{D}{110H} + 0.041 \frac{H}{D} \right) D^5 \sqrt{2g}$$

DATOS

$$H= 0.06 \text{ m}$$

$$D= 0.103 \text{ m}$$

$$\varphi= 3.12821 \text{ (por interpolación) (Tabla 1.2)}$$

$$\frac{H}{D} = \frac{0.06}{0.103} = 0.5825$$

➤ Con el valor de H/D , y mediante interpolación, determinamos φ :

$$\frac{0.55 - 0.60}{0.55 - 0.5825} = \frac{2.8205 - 3.2939}{2.8205 - \varphi}$$

$$\varphi= 3.12821$$

➤ Por tanto:

$$Q_{\text{entrada } 2} = 0.006332 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.1.1.3 Caudal total

Por medio de la Ecuación 1.3, que expresa la sumatoria de caudales, obtenemos el caudal total.

$$Q_T = \sum_{i=1}^k q_i$$

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{entrada } 1} + Q_{\text{entrada } 2} = 0.03318 \text{ m}^3/\text{s} = 2867.099 \text{ m}^3/\text{d}$$

3.1.2 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE PLACAS

La planta trabaja con dos sedimentadores de flujo horizontal; cada sedimentador tiene 10.34 m de largo y 4.88 m de ancho y 4.4 m de profundidad. Para tal propósito, se colocan placas de 1.22m x 2.35m x0.01m.

Para lo cual se calculará:

- Carga superficial actual.
- Área de sedimentación.
- Número de placas requeridas.
- Carga superficial para la zona de sedimentación.

3.1.2.1 Carga superficial

La carga superficial de un sedimentador convencional, se obtiene con la Ecuación 1.5.:

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

$$CS = \frac{2867.099}{2 * 10.34 * 4.88}$$

$$CS = 28.41 \text{ m/d}$$

En tanques de sedimentación convencional $v_{sc} = CS = 28.41 \text{ m/d}$.

3.1.2.2 Área de sedimentación

De acuerdo con la Ecuación 1.7, y tomando en cuenta la longitud relativa del sedimentador, en flujo laminar.

$$v_{sc} = \frac{S_c v_0}{\text{sen}\theta + L \cos\theta}$$

La velocidad promedio de flujo en el sedimentador, se obtiene por la Ecuación 1.6:

$$v_0 = \frac{Q}{A \text{sen}\theta}$$

Por lo tanto, según la Ecuación 1.7:

$$v_{sc} = \frac{S_c Q}{A \text{sen}\theta(\text{sen}\theta + L \cos\theta)}$$

$$A = \frac{S_c Q}{v_{sc} \text{sen}\theta(\text{sen}\theta + L \cos\theta)}$$

Para: $\theta=60^\circ$; $S_c=1$; $d=6\text{cm}$, se determina con la Ecuación 1.8, la Longitud relativa:

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

$$L = \frac{122}{6}$$

$$L = 20.33$$

$$A = \frac{1 * 2867.099}{28.41 * \text{sen } 60(\text{sen } 60 + 20.33 \cos 60)}$$

$$A = 10.56 \text{ m}^2$$

Como el ancho de cada sedimentador es de 4.88 m, para 2 filas de placas de 2.35 m de longitud, la longitud de sedimentación acelerada es:

$$L_s = \frac{A}{2.35 * 2}$$

$$L_s = \frac{10.18}{2.35 * 2}$$

$$L_s = 2.25 \text{ m}$$

Se adopta una longitud de sedimentación acelerada de 2.25 m al final de cada tanque de sedimentación.

3.1.2.3 Número de placas N

La recomendación que da la bibliografía es que existe una longitud libre de elementos de sedimentación en el tanque para permitir buenas condiciones de entrada en el sedimentador. Por lo que, para la longitud de sedimentación acelerada se toma la mitad de la longitud del sedimentador para obtener un diseño aceptable. Siendo la Ecuación 1.15 la que determine el número de placas planas.

$$N = \frac{L_s \operatorname{sen}\theta + d}{d + e}$$

DATOS:

$$L_s = 5.17 \text{ m}$$

$$e = 0.01 \text{ m}$$

$$d = 0.06 \text{ m}$$

$$\theta = 60^\circ$$

$$N = \frac{5.17 * \operatorname{sen}60 + 0.06}{0.06 + 0.01}$$

$$N = 64.82 \cong 65 \text{ placas}$$

Como en cada sedimentador caben 2 filas de placas:

$$N = 65 * 2 * 2 = 260 \text{ placas}$$

Para la zona de sedimentación:

$$v_0 = \frac{Q}{A \operatorname{sen}\theta}$$

$$v_0 = \frac{2867.099}{4.7 * 5.17 * \operatorname{sen}60}$$

$$v_0 = 131.22 \frac{m}{d} = 0.0911 m/min$$

El número de Reynolds obtenemos de la Ecuación 1.11

$$N_{RE} = \frac{v_0 * d}{\nu}$$

La viscosidad a la temperatura de 15° C es de $1.239 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$N_{RE} = \frac{274.49 * 0.06}{86400 * 1.139 * 10^{-6}}$$

$$N_{RE} = 80.00 \text{ Flujo laminar}$$

El tiempo de retención en el sedimentador, usando la Ecuación 1.12

$$t = \frac{l}{v_0}$$

$$t = \frac{1.22}{0.0911}$$

$$t = 13.39 \text{ min}$$

3.1.2.4 Carga superficial para el área de sedimentación

El área superficial será el ancho del sedimentador por la longitud de sedimentación acelerada.

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

$$CS = \frac{2867.099}{4.88 * 5.17}$$

$$CS = 113.64 \text{ m/d}$$

3.1.2.5 Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

Determinamos mediante la Ecuación 1.14:

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{Ad}{Q}$$

$$T = \frac{10.34 * 4.88 * 24 * 60}{2867.099}$$

$$T = 25.34 \text{ min}$$

3.1.2.6 Verificación del diseño

Se calcula la longitud relativa para la región de transición por la Ecuación 1.9, de Schulze:

$$L' = 0.013 \frac{v_0 d}{v}$$

$$L' = 0.013 N_{RE}$$

$$L' = 0.013(80.00)$$

$$L' = 1.04$$

Con lo que el factor de seguridad se calcula con la Ecuación 1.10:

$$L' < L \Rightarrow L_c = L - L'$$

$$L_c = 20.33 - 1.04$$

$$L_c = \mathbf{19.29}$$

De acuerdo con la Ecuación 1.7:

$$v_{sc} = \frac{S_c v_0}{\text{sen}\theta + L_c \text{cos}\theta}$$

$$v_{sc} = \frac{1 * 131.22}{\text{sen}60 + (19.29) \text{cos}60}$$

$$\mathbf{v_{sc} = 12.48 \text{ m/d} < 28.41 \text{ m/d}}$$

Por lo tanto, el diseño es aceptable y mantiene las mismas condiciones de sedimentación.

3.1.3 EFICIENCIA DEL SEDIMENTADOR

Se toma la relación entre la concentración de partículas a la salida N_t y la concentración de partículas a la entrada N_o del decantador, como indica la Ecuación 1.16:

$$Eficiencia = 1 - \frac{N_t}{N_o} = 1 - \frac{Turbiedad\ de\ salida}{Turbiedad\ de\ entrada}$$

$$Eficiencia = 1 - \frac{1.22}{1.35} * 100$$

$$Eficiencia = 9.63 \%$$

3.1.4 CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DEL CLORO

Mediante la Ecuación 1.18, obtenemos la cantidad de HTH (*Hipoclorito Cálcico*) que debemos usar en un día.

$$Cantidad\ de\ HTH = 0.012 * Q * C$$

DATOS:

$$Q = 525.97 \text{ gpm}$$

$$C = 1.5 \text{ mg/L}$$

$$Cantidad\ de\ HTH = \frac{0.012 * 525.97 * 1.5}{2}$$

$$Cantidad\ de\ HTH = 4.73 \text{ lb/día} = 2145.49 \text{ g/día}$$

Para determinar la cantidad de agua necesaria para diluir el Hipoclorito de Calcio, utilizamos la relación de la densidad.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Despejando el volumen, tenemos:

$$V = \frac{m}{\rho}$$

DATOS:

$$m = 2145.49 \text{ g/día}$$

$$\rho_{HTH} = 800 \text{ g/L}$$

$$\text{Agua (\% peso)} = 8.5 \%$$

$$\text{Cloro disponible (\% peso)} = 65 \%$$

$$V = \frac{2145.49}{800}$$

$$V = 2.68 \text{ L de HTH (65\%)}$$

$$V_1 = 2.68 * \frac{65 \% \text{ de Cloro}}{8.5 \% \text{ de Agua}}$$

$$V_1 = 20.51 \text{ L de H}_2\text{O}$$

Requerimos de 20.51 L de Agua para diluir **4.73 lb/día** de HTH.

De la solución que se prepara se deja reposar 24 horas, una vez en reposo se extrae la solución madre (líquido verde) y se vuelve a diluir; para conocer la cantidad de agua a la que se debe diluir la solución anterior, se procede con la siguiente ecuación:

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

$$20.51 * 0,65 = V_2 * (1.5)$$

$$V_2 = 8.89 \text{ L de } H_2O$$

La solución madre se debe diluir en 8.89 L de Agua.

El volumen total de la solución será:

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_T = 29.4 \text{ L de Cloro a } 1.5 \text{ ppm}$$

Para determinar el volumen de la solución por minuto que se debe agregar al agua para tratarla, se procede a la conversión:

$$\frac{29.4 \text{ L}}{12H} \times \frac{1000ml}{1L} \times \frac{1H}{60min} = 40.85 \text{ ml/min}$$

3.1.5 CÁLCULO DE DOSIFICACIÓN DEL PAC

Mediante una relación se calcula el aforo de solución de PAC, además indica si se realiza una dilución o no del químico.

$$x = \frac{Q * C}{60 * P * \rho}$$

(Ecuación 3.1)

DONDE:

Q= Caudal (m³/h)

C= Concentración de acuerdo al test de jarras (ppm)

P= Porcentaje de dilución

ρ= Densidad del PAC (Kg/L)

DATOS:

Q= 108 m³/h

C= 20 ppm

P= 1

ρ= 1.24 Kg/L

$$x = \frac{30 * 20}{60 * 1 * 1.24}$$

$$x = 29.03 \text{ ml/min}$$

➤ Cantidad de PAC a utilizar por día:

$$x = \frac{29.03 * 60 * 24}{1000}$$

$$x = 41.81 \text{ L/día}$$

3.2 RESULTADOS

3.2.1 NÚMERO DE PLACAS EN CADA SEDIMENTADOR

Tabla 3.1 Número de placas planas en cada sedimentador

SEDIMENTADOR	FILA	N° Placas de diseño actual	N° Placas planas de diseño propuesto
1	1	75	65
	2		65
2	1		65
	2		65
TOTAL			260

3.2.2 DOSIFICACIÓN DE CLORO DE 1.5 PPM AL DÍA

Dependiendo del caudal de agua que entre a la planta se tendrá la dosificación como se muestra en la Tabla 3.2.:

Tabla 3.2 Resultados de dosificación del Cloro respecto al caudal

Q (L/s)	Q (gpm)	CANTIDAD DE CLORO (lb/día)	V (sin % de cloro del HTH)	V 1 (L)	V 2 (L)	VOLUMEN TOTAL (L)	GOTEO (ml/min)
5	79,26	0,71	0,40	3,09	1,34	4,43	6,16
10	158,52	1,43	0,81	6,18	2,68	8,86	12,31
11	174,37	1,57	0,89	6,80	2,95	9,75	13,54
12	190,22	1,71	0,97	7,42	3,22	10,64	14,77
13	206,08	1,85	1,05	8,04	3,48	11,52	16,01
14	221,93	2,00	1,13	8,66	3,75	12,41	17,24
15	237,78	2,14	1,21	9,28	4,02	13,30	18,47
16	253,63	2,28	1,29	9,90	4,29	14,18	19,70
17	269,48	2,43	1,37	10,51	4,56	15,07	20,93
18	285,34	2,57	1,46	11,13	4,82	15,96	22,16
19	301,19	2,71	1,54	11,75	5,09	16,84	23,39
20	317,04	2,85	1,62	12,37	5,36	17,73	24,62
21	332,89	3,00	1,70	12,99	5,63	18,62	25,86
22	348,75	3,14	1,78	13,61	5,90	19,50	27,09
23	364,60	3,28	1,86	14,22	6,16	20,39	28,32
24	380,45	3,42	1,94	14,84	6,43	21,28	29,55
25	396,30	3,57	2,02	15,46	6,70	22,16	30,78
26	412,15	3,71	2,10	16,08	6,97	23,05	32,01
27	428,01	3,85	2,18	16,70	7,24	23,94	33,24
28	443,86	3,99	2,26	17,32	7,50	24,82	34,47
29	459,71	4,14	2,35	17,94	7,77	25,71	35,71
30	475,56	4,28	2,43	18,55	8,04	26,59	36,94
31	491,41	4,42	2,51	19,17	8,31	27,48	38,17
32	507,27	4,57	2,59	19,79	8,58	28,37	39,40
33	523,12	4,71	2,67	20,41	8,84	29,25	40,63

(Continuación)

Tabla 3.2 Resultados de dosificación del Cloro respecto al caudal

Q (L/s)	Q (gpm)	CANTIDAD DE CLORO (lb/día)	V (sin % de cloro del HTH)	V 1 (L)	V 2 (L)	VOLUMEN TOTAL (L)	GOTEO (ml/min)
33,18	525,97	4,73	2,68	20,52	8,89	29,41	40,85
34	538,97	4,85	2,75	21,03	9,11	30,14	41,86
35	554,82	4,99	2,83	21,65	9,38	31,03	43,09
36	570,67	5,14	2,91	22,27	9,65	31,91	44,32
37	586,53	5,28	2,99	22,88	9,92	32,80	45,56
38	602,38	5,42	3,07	23,50	10,18	33,69	46,79
39	618,23	5,56	3,15	24,12	10,45	34,57	48,02
40	634,08	5,71	3,24	24,74	10,72	35,46	49,25
41	649,93	5,85	3,32	25,36	10,99	36,35	50,48
42	665,79	5,99	3,40	25,98	11,26	37,23	51,71
43	681,64	6,13	3,48	26,59	11,52	38,12	52,94
44	697,49	6,28	3,56	27,21	11,79	39,01	54,17
45	713,34	6,42	3,64	27,83	12,06	39,89	55,41

Fuente: Autor

3.2.3 DOSIFICACIÓN DE CLORO DE 0.5 PPM EN LA PER-CLORACIÓN

Tabla 3.3 Resultados de dosificación del Cloro respecto al caudal

Q (L/s)	Q (gpm)	CANTIDAD DE CLORO (lb/día)	V (sin % de cloro del HTH)	V 1 (L)	V 2 (L)	VOLUMEN TOTAL (L)	GOTEO (ml/min)
5	79,26	0,24	0,13	1,03	1,34	2,37	3,29
10	158,52	0,48	0,27	2,06	2,68	4,74	6,59
11	174,37	0,52	0,30	2,27	2,95	5,22	7,24
12	190,22	0,57	0,32	2,47	3,22	5,69	7,90
13	206,08	0,62	0,35	2,68	3,48	6,16	8,56
14	221,93	0,67	0,38	2,89	3,75	6,64	9,22
15	237,78	0,71	0,40	3,09	4,02	7,11	9,88
16	253,63	0,76	0,43	3,30	4,29	7,59	10,54
17	269,48	0,81	0,46	3,50	4,56	8,06	11,20
18	285,34	0,86	0,49	3,71	4,82	8,53	11,85
19	301,19	0,90	0,51	3,92	5,09	9,01	12,51
20	317,04	0,95	0,54	4,12	5,36	9,48	13,17

(Continuación)

Tabla 3.3 Resultados de dosificación del Cloro respecto al caudal

Q (L/s)	Q (gpm)	CANTIDAD DE CLORO (lb/día)	V (sin % de cloro del HTH)	V 1 (L)	V 2 (L)	VOLUMEN TOTAL (L)	GOTEO (ml/min)
21	332,89	1,00	0,57	4,33	5,63	9,96	13,83
22	348,75	1,05	0,59	4,54	5,90	10,43	14,49
23	364,60	1,09	0,62	4,74	6,16	10,91	15,15
24	380,45	1,14	0,65	4,95	6,43	11,38	15,81
25	396,30	1,19	0,67	5,15	6,70	11,85	16,46
26	412,15	1,24	0,70	5,36	6,97	12,33	17,12
27	428,01	1,28	0,73	5,57	7,24	12,80	17,78
28	443,86	1,33	0,75	5,77	7,50	13,28	18,44
29	459,71	1,38	0,78	5,98	7,77	13,75	19,10
30	475,56	1,43	0,81	6,18	8,04	14,22	19,76
31	491,41	1,47	0,84	6,39	8,31	14,70	20,42
32	507,27	1,52	0,86	6,60	8,58	15,17	21,07
33	523,12	1,57	0,89	6,80	8,84	15,65	21,73
33,18	525,97	1,58	0,89	6,84	8,89	15,73	21,85
34	538,97	1,62	0,92	7,01	9,11	16,12	22,39
35	554,82	1,66	0,94	7,22	9,38	16,60	23,05
36	570,67	1,71	0,97	7,42	9,65	17,07	23,71
37	586,53	1,76	1,00	7,63	9,92	17,54	24,37
38	602,38	1,81	1,02	7,83	10,18	18,02	25,03
39	618,23	1,85	1,05	8,04	10,45	18,49	25,68
40	634,08	1,90	1,08	8,25	10,72	18,97	26,34
41	649,93	1,95	1,11	8,45	10,99	19,44	27,00
42	665,79	2,00	1,13	8,66	11,26	19,91	27,66
43	681,64	2,04	1,16	8,86	11,52	20,39	28,32
44	697,49	2,09	1,19	9,07	11,79	20,86	28,98
45	713,34	2,14	1,21	9,28	12,06	21,34	29,64

Fuente: Autor

3.2.4 DOSIFICACIÓN DE CLORO DE 1 PPM EN LA POST-CLORACIÓN

Tabla 3.4 Resultados de dosificación de Cloro respecto al caudal

Q (L/s)	Q (gpm)	CANTIDAD DE CLORO (lb/día)	V (sin % de cloro del HTH)	V 1 (L)	V 2 (L)	VOLUMEN TOTAL (L)	GOTEO (ml/min)
5	79,26	0,48	0,27	2,06	1,34	3,40	4,72
10	158,52	0,95	0,54	4,12	2,68	6,80	9,45
11	174,37	1,05	0,59	4,54	2,95	7,48	10,39
12	190,22	1,14	0,65	4,95	3,22	8,16	11,34
13	206,08	1,24	0,70	5,36	3,48	8,84	12,28
14	221,93	1,33	0,75	5,77	3,75	9,52	13,23
15	237,78	1,43	0,81	6,18	4,02	10,20	14,17
16	253,63	1,52	0,86	6,60	4,29	10,89	15,12
17	269,48	1,62	0,92	7,01	4,56	11,57	16,06
18	285,34	1,71	0,97	7,42	4,82	12,25	17,01
19	301,19	1,81	1,02	7,83	5,09	12,93	17,95
20	317,04	1,90	1,08	8,25	5,36	13,61	18,90
21	332,89	2,00	1,13	8,66	5,63	14,29	19,84
22	348,75	2,09	1,19	9,07	5,90	14,97	20,79
23	364,60	2,19	1,24	9,48	6,16	15,65	21,73
24	380,45	2,28	1,29	9,90	6,43	16,33	22,68
25	396,30	2,38	1,35	10,31	6,70	17,01	23,62
26	412,15	2,47	1,40	10,72	6,97	17,69	24,57
27	428,01	2,57	1,46	11,13	7,24	18,37	25,51
28	443,86	2,66	1,51	11,54	7,50	19,05	26,46
29	459,71	2,76	1,56	11,96	7,77	19,73	27,40
30	475,56	2,85	1,62	12,37	8,04	20,41	28,35
31	491,41	2,95	1,67	12,78	8,31	21,09	29,29
32	507,27	3,04	1,73	13,19	8,58	21,77	30,24
33	523,12	3,14	1,78	13,61	8,84	22,45	31,18
33,18	525,97	3,16	1,79	13,68	8,89	22,57	31,35
34	538,97	3,23	1,83	14,02	9,11	23,13	32,13
35	554,82	3,33	1,89	14,43	9,38	23,81	33,07
36	570,67	3,42	1,94	14,84	9,65	24,49	34,02
37	586,53	3,52	1,99	15,26	9,92	25,17	34,96
38	602,38	3,61	2,05	15,67	10,18	25,85	35,91
39	618,23	3,71	2,10	16,08	10,45	26,53	36,85
40	634,08	3,80	2,16	16,49	10,72	27,21	37,80
41	649,93	3,90	2,21	16,91	10,99	27,89	38,74
42	665,79	3,99	2,26	17,32	11,26	28,57	39,69
43	681,64	4,09	2,32	17,73	11,52	29,25	40,63
44	697,49	4,18	2,37	18,14	11,79	29,93	41,58
45	713,34	4,28	2,43	18,55	12,06	30,61	42,52

Fuente: Autor

3.2.5 PRUEBA DE JARRAS

Los resultados de la prueba de jarras realizadas a distintas turbiedades, se presentan a continuación:

Tabla 3.5 Prueba de jarras Turbiedad 4.62 NTU

Concentración de PAC (ppm)	Volumen PAC (ml)	Concentración del auxiliar aniónico (ppm)	Volumen Auxiliar aniónico (ml)	Turbiedad NTU
5	0.5	10	0.5	4.50
10	1	10	1	3.23
15	1.5	10	0.5	0.77
20	2	10	1	0.48

Fuente: Autor

Tabla 3.6 Prueba de jarras Turbiedad 14.8 NTU

Concentración de PAC (ppm)	Volumen PAC (ml)	Concentración del auxiliar aniónico (ppm)	Volumen Auxiliar aniónico (ml)	Turbiedad NTU
10	1	10	0.5	3.42
25	2.5	10	1	0.6
50	5	10	2.5	0.5
100	10	10	5	0.48

Fuente: Autor

Tabla 3.7 Prueba de jarras Turbiedad 40.7 NTU

Concentración de PAC (ppm)	Volumen PAC (ml)	Concentración del auxiliar aniónico (ppm)	Volumen Auxiliar aniónico (ml)	Turbiedad NTU
25	2.5	10	1	0.73
50	5	10	2.5	0.92
100	10	10	6	1.15
150	15	10	9	0.34

Fuente: Autor

Tabla 3.8 Prueba de jarras Turbiedad 113 NTU

Concentración de PAC (ppm)	Volumen PAC (ml)	Concentración del auxiliar aniónico (ppm)	Volumen Auxiliar aniónico (ml)	Turbiedad NTU
25	5	10	2.5	0.28
200	10	10	7.5	3.56
300	15	10	10	2.87
400	20	10	15	1.98

Fuente: Autor

3.2.6 REQUERIMIENTO PRESUPUESTARIO

3.2.6.1 Presupuesto de implementación de placas planas

Tabla 3.9

<i>CANTIDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>V. UNITARIO</i>	<i>V. TOTAL</i>
48 m ²	Placas planas de sedimentación, fabricado en ABS virgen de 0.01 m de espesor.	\$62.50	\$ 3000.00
		TOTAL	\$ 3000.00

Fuente: Autor

3.2.6.2 Costo de PAC al día

Tabla 3.10 Aforo de solución de PAC y costo diario

TEST DE JARRAS (ppm)	AFORO DE LA SOLUCIÓN DE PAC (ml/min)	CANTIDAD DE PAC A UTILIZAR (L/día)	PRECIO DE QUÍMICO POR DÍA (USD)
10	14,52	20,90	21,95
15	21,77	31,35	32,92
20	29,03	41,81	43,90
25	36,29	52,26	54,87
30	43,55	62,71	65,85

Fuente: Autor

3.2.6.3 Propuesta de uso de PAC y su influencia en el consumo eléctrico

Tabla 3.11 Propuesta de consumo eléctrico anual para el uso de PAC

ESTACIONES EN EL AÑO	MESES	ACTUAL				PROPUESTA	
		CONSUMO MENSUAL APROXIMADO (Kw/H)	VALOR (USD/Kw/h)	CONSUMO MENSUAL (USD/Kw/h)	CONSUMO ANUAL (USD/Kw/h)	CONSUMO MENSUAL (Kw/H)	VALOR ANUAL (USD)
INVIERNO	Enero	500	0,095	47,5	570	500	285
	Febrero						
	Marzo						
VERANO	Abril					No es necesario el uso continuo de equipos de dosificación	
	Mayo						
	Junio						
	Julio						
	Agosto						
INVIERNO	Septiembre					500	
	Octubre						
	Noviembre						
	Diciembre						

Fuente: Autor

3.2.6.4 Inversión de la Empresa

Tabla 3.12 Inversión de la Empresa

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
8	Tambores de PAC de 250 Kg	211,69	1693,52
1	Implementación de Placas Planas	3000	3000
1	Gastos varios	200	200
3	20 Kg de HTH al 68%	158	474
		TOTAL	5367,52

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El parámetro determinante para realizar la optimización del sistema de tratamiento de agua potable es la turbidez y por ende el color. Cuyo valor en épocas de verano no se pasan los límites permisibles que establece la norma que es de 5 NTU, esto se puede apreciar en los resultados de las Tablas 2.8, 2.9, 2.10, 2.11. Pero la planta presenta problemas en condiciones donde el clima es lluvioso, ya que se tienen turbiedades altas como el resultado monitoreado en la Tabla 2.12. Es indispensable señalar que la planta dosifica diariamente el policloruro de aluminio (PAC), no siendo lo más correcto si se tiene un agua que no presenta turbiedades altas que pasen de los 4 NTU al menos; si se dosifica el PAC con turbiedades bajas, el mismo químico puede estar coloreando el agua y esto producirá también un daño a la calidad estética y de la salud, ya que la dosificación del PAC también debe ser controlada, y dosificada técnicamente; es por esto que se hizo la prueba de jarras para determinar la concentración correcta del coagulante de acuerdo a la turbiedad que se presente y el caudal con el que trabajemos, así podremos aforar la solución en ml/min al agua que ingresa, tal como se presenta en la Tabla 3.9.

Una de las mejoras dentro de la planta es la instalación de cloro gas para la dosificación automática para las 12 horas en el día, pero la condición es de no parar con la dosificación manual que se hace con la solución madre del cloro que se extrae del hipoclorito de calcio durante las 12 horas restantes, es por esto que se hizo cartas de dosificación para concentraciones de 1.5 ppm, 0.5 ppm y 1 ppm, debido a que en el sistema de tratamiento existe etapas de dosificaciones de per-cloración y post-cloración; esto se hace por razones de reacción del cloro, ya que el cloro obtenido del HTH reacciona en 30 minutos, mientras que el cloro gas lo hace en 15 minutos. Como podemos constatar en la Tabla 3.3, vemos que para la per-cloración, el cloro con concentración de 0.5 ppm y para un caudal

aproximadamente de 30 L/s se debe aforar el goteo de 19.76 ml/min, mientras que en la post-cloración (distribución) se debe complementar 1 ppm de la concentración de cloro, para el mismo caudal, con goteo de 28,35 ml/min, tal como se muestra en la Tabla 3.2.

Después de realizado el seguimiento dentro del sistema para cada proceso, en base a las eficiencias, se determinó que la sedimentación es el proceso más deficiente de la planta, tanto en tiempos de verano como de invierno, como se puede observar en las Tablas 2.4, 2.5, y aquí es donde nos enfocamos. El sedimentador es laminar, que consta de placas planas, las mismas que se encuentran deterioradas y su función ya no es efectiva dentro del papel que deberían llevar en los dos sedimentadores. En los cálculos realizados podemos comprobar el número necesario de placas para los sedimentadores que tiene la planta, donde se necesita de 65 placas planas de 1.22 m de longitud, 2.35 m de ancho y 0.01 m de espesor, con inclinación de las placas de 60° y una separación entre placas de 0.06 m; la inclinación de las placas hace que el sedimentador tenga una mayor área de sedimentación en un espacio de hasta 90 por ciento menos que los sedimentadores convencionales. Las placas que se proponen son de material ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), el mismo que es resistente a ácidos y álcalis, no higroscópicos y de superficie completamente liza.

El número de reynolds es uno de los factores importantes para el correcto funcionamiento del sedimentador de placas inclinadas y para su diseño, dado que para el caso se calculó el número de reynolds de 80, siendo este, un flujo laminar, por lo que es posible rediseñar las placas.

El tiempo de retención en el tanque de sedimentación es de 25.34 minutos, que permite el asentamiento de partículas; mientras que para el lado de las placas inclinadas el tiempo de retención es de 13.39 minutos, esto se encuentra de acuerdo a las recomendaciones que hacen en la bibliografía.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ✚ Dentro del sistema de tratamiento de agua, la Sedimentación es el proceso más deficiente a diferencia de los demás procesos; la eficiencia varía en forma directa con la turbiedad teniendo valores de 9.63 %, 4.74 %, inclusive valores negativos.
- ✚ La eficiencia de los sedimentadores aumenta cambiando las placas que posee actualmente, que cumplieron su tiempo de vida útil, por placas nuevas de ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), que se calcularon de acuerdo al estudio de ingeniería, en la que se determinó que serían 65 placas en cada fila, 130 en cada sedimentador.
- ✚ Las caracterizaciones realizadas del agua recolectada en sus diferentes puntos del sistema mostraron que la turbidez y los fosfatos, entre los 29 parámetros analizados, son los que no cumplen con lo que establece la norma NTE INEN 1108:2006 dentro de los límites permisibles.
- ✚ Después de realizado el cálculo de ingeniería se determinó que los tiempos de residencia o permanencia, la velocidad de sedimentación de las partículas en el sedimentador, el área superficial, son los idóneos para proceder a la implementación del número de placas determinado.

- ✚ Para la optimización del Sistema de Tratamiento de la planta de agua potable se debe instalar las placas en cada sedimentador, y la dosificación correcta de aditivos tanto para la coagulación como para la desinfección, una vez que se ha determinado técnicamente de cuantas placas se requiere y la dosis óptima de PAC y cloro en el agua, de acuerdo al estudio realizado; teniendo en cuenta la inversión de 5367,52 dólares americanos que debe hacer la empresa para la mejora.

5.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda:

1. Aplicar el estudio realizado para mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de agua potable, brindando un servicio de calidad a la ciudadanía Chimbeña.
2. Usar el PAC cuando la turbiedad sobrepase los 4 NTU, ya que esto reducirá costos y no afectará la calidad estética y la parte de salubridad del agua.
3. Aislar todas las operaciones de las condiciones ambientales, como son el polvo, viento, etc., para que no afecte la eficiencia de la planta; además, cambiar el tanque de dosificación de Cloro, puesto que el material no es el adecuado para que almacene esta sustancia.
4. Dar mantenimiento permanente a las placas que se implementen, con una limpieza mensual.
5. Aplicar las dosis de Cloro y PAC de acuerdo a las cartas de dosificación que se presentan en las Tablas y 3.2, 3.3, 3.4 3.9.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- 1. AMERICAN WATER WORKS ASOCIATION.,** Calidad y tratamiento del agua., Madrid-España., McGraw-Hill., 2002., P.p. 47-447.
- 2. ARBOLEDA., J.,**Teoría y Práctica de la Purificación del Agua., 3.a.ed., Bogotá-Colombia., Mc. Graw Hill., Tomo I., 2000., P.p. 205-234.
- 3. ARBOLEDA., J.,**Teoría y Práctica de la Purificación del Agua., 3.a.ed., Bogotá-Colombia., Mc. Graw Hill., Tomo II., 2000., P.p. 364-631.
- 4. NORDEL, E.,** Tratamiento de Agua para industria y otros usos., México D.F-México., Continental, S.A., 1979., P.p. 247-427.

5. ROMERO, J., Calidad del agua., Bogotá-Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2009., P.p. 58-302.

6. ROMERO, J., Potabilización del Agua., México D.F.-México., Alfaomega grupo editor, S.A., 1999., P.p. 117-259.

7. SPELLMAN, F., Y OTROS., Manual del Agua Potable., Madrid-España., CRC Press Boca Raton., 2000., P.p. 217-238.

8. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS), Guías para la calidad del agua potable.,3.a.e.d., s.l.,Volumen I., 2006., P.p. 147

INTERNET

1. ECUADOR., INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

<http://www.inen.gob.ec/index.php?option=com>

2013/09/23

2. INTRODUCCIÓN A LA OPTIMIZACIÓN.

<http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source>

2013/09/23

3. SEDIMENTACIÓN

<http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/index>

2013/10/06

4. SEDIMENTADOR LAMINAR EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

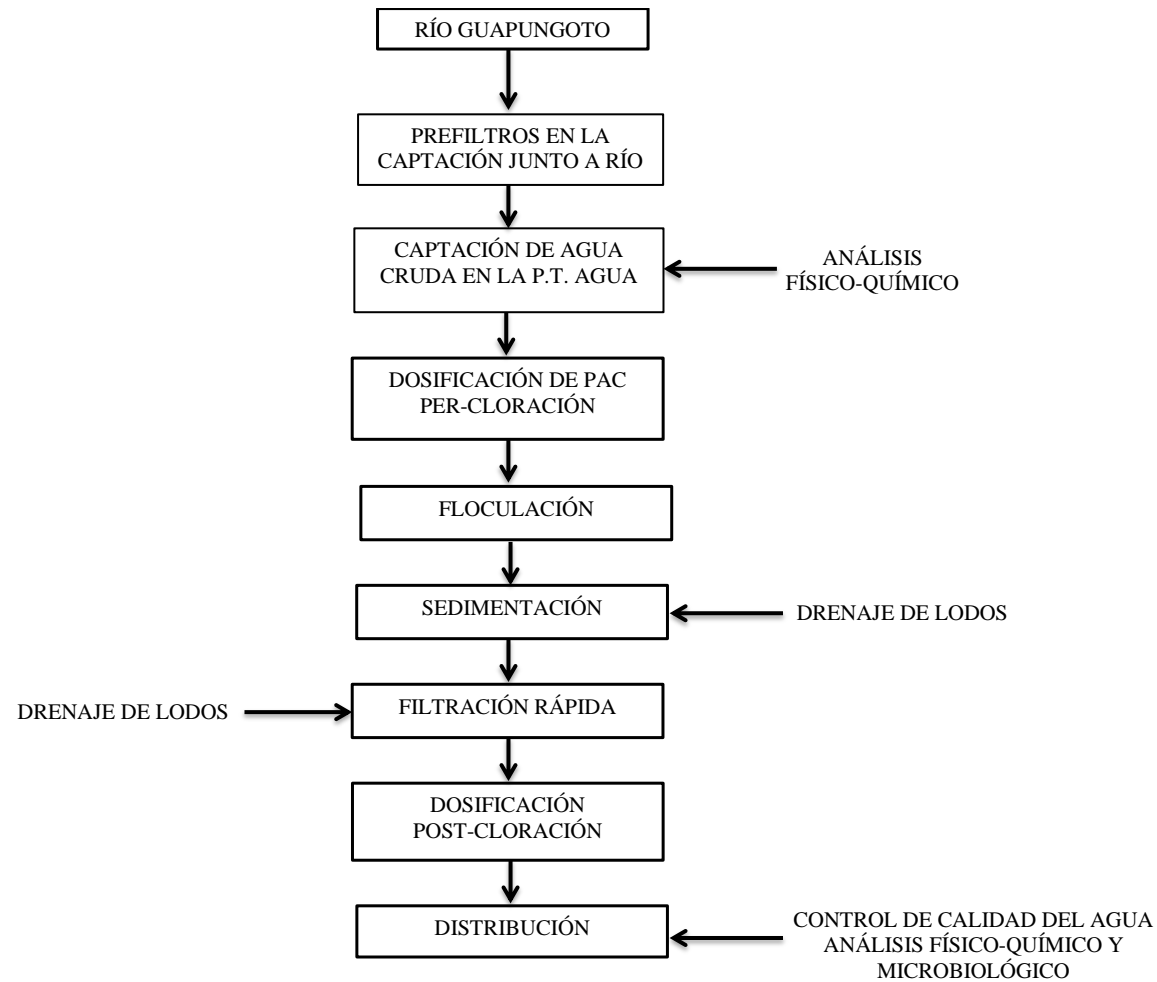
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/17090?mode=full>

2013/10/06

ANEXOS

ANEXO I

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA, DE LA PLANTA “SAN LORENZO”



NOTA:

Categoría de Diagrama

- Certificado
- Por aprobar
- Aprobado
- Para Información
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 REALIZADO POR: ITAYA PESANTES T.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA
 PLANTA “SAN LORENZO”

Lámina	Escala	Fecha
1		2013/10/01

ANEXO II
ILUSTACIONES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “SAN LORENZO”



NOTA:

Categoría de Diagrama

- Certificado
- Por aprobar
- Aprobado
- Para Información
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 REALIZADO POR: ITAYA PESANTES T.

ILUSTRACIONES DE LA PLANTA DE
 TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
 “SAN LORENZO”

Lámina	Escala	Fecha
2		2013/10/01

ANEXO III

HOJA DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

DATOS DE IDENTIFICACION DE LA MUESTRA			
NÚMERO DE MUESTRA		1G - 2H	
FECHA:		09/09/2013	
HORA:		7:25 A.M	
PERSONA RESPONSABLE:		Itaya Estefania Pesantes Torres	
TIPO DE MUESTRA:		Agua Tratada (Distribución)	
DESCRIPCIÓN DEL LUGAR:			
UBICACIÓN:		Planta de Tratamiento de Agua Potable "San Lorenzo"	
COMUNIDAD	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA
El Tejar "San Lorenzo"	San Lorenzo	Guaranda	Bolivar
CARACTERÍSTICAS SENSORIALES		Incoloro, inodoro, insípida	
ENSAYOS SOLICITADOS:		Físico-Químicos	
OBSERVACIONES:		Las muestras fueron tomadas a un metro de distancia de donde se hace la post-cloración.	

NOTA:

Categoría de Diagrama

- Certificado
- Por aprobar
- Aprobado
- Para Información
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
REALIZADO POR: ITAYA PESANTES T.

HOJA DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRAS

Lámina	Escala	Fecha
3		2013/10/01

ANEXO IV

PROPIEDADES DEL HIPOCLORITO DE CALCIO (HTH)

<i>Propiedades del Hipoclorito de Calcio HTH[®]</i>		
	Especificación	Análisis Característico
Cloro disponible (% por peso)	65%, mín	68%
Agua (% por peso)	5,5 a 8,5%	7,9%
Hierro (% por peso como Fe)	0,05%, máx.	0,02%
Tamaño de Partícula, Tamices norteamericanos estándar		
en 10 (2,00 mm)	0,5% máx	<0,1%
en 14 (1,41 mm)	25%, máx	9,2%
hasta 100 (0,15 mm)	3%, máx	0,2%
Densidad a granel, g/mL, suelto	0,8, mín	0,92
Solubilidad en agua, g/L	--	180
pH de la solución		
200 ppm de cloro disponible	--	10
500 ppm de cloro disponible	--	10,3
1000 ppm de cloro disponible	--	10,7
1% del cloro disponible	--	11,1

NOTA:	Categoría de Diagrama <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Para Información <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: ITAYA PESANTES T.	PROPIEDADES DEL HIPOCLORITO DE CALCIO HTH		
			Lámina	Escala	Fecha
			4		2013/10/01

MSDS DEL POLICLORURO DE ALUMINIO

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

PAGINA: 1

1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPANIA

Nombre del producto: **PAC - 08**
Fabricante: **JP-Quimica S.C.C.**
 Planta industrial y oficinas
 Vía Conocoto -Amaguaña telf. 593-2-788 239

2. COMPOSICION/INFORMACION DE INGREDIENTES

Identificación de la preparación: Coagulante inorgánico

Nombre Químico CAS-N°
 Policloruro de Aluminio 1327-41-9

3. IDENTIFICACION DE PELIGROS

Ojos: Contacto directo irrita moderadamente, provoca enrojecimiento e inflamación.
Piel: No se conoce efectos a exposiciones cortas o medianas. Exposiciones repetidas puede causar irritación.
Ingestión: Puede causar alteraciones gastrointestinales
Inhalación: Inhalaciones de gases creadas durante el uso puede lesionar el sistema respiratorio y causar lesión a los pulmones.

4. PRIMEROS AUXILIOS

Ojos: En caso de contacto con los ojos lave inmediatamente con abundante agua y acuda al médico.
Piel: Lave inmediatamente con jabón y abundante agua.

NOTA:

Categoría de Diagrama

- Certificado
 Por aprobar
 Aprobado
 Para Información
 Por calificar

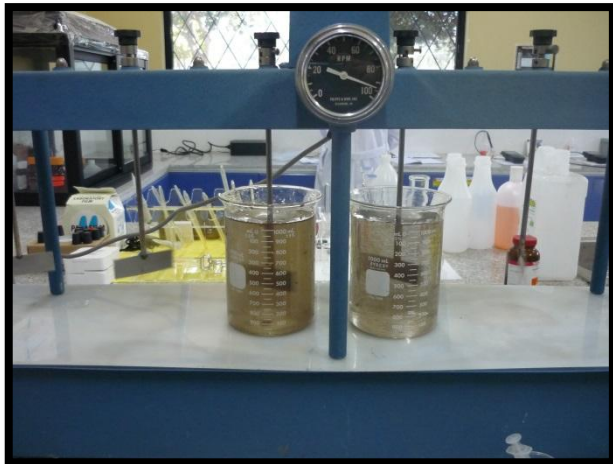
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 REALIZADO POR: ITAYA PESANTES T.

MSDS DEL POLICLORURO DE ALUMINIO

Lámina	Escala	Fecha
5		2013/10/01

ANEXO VI

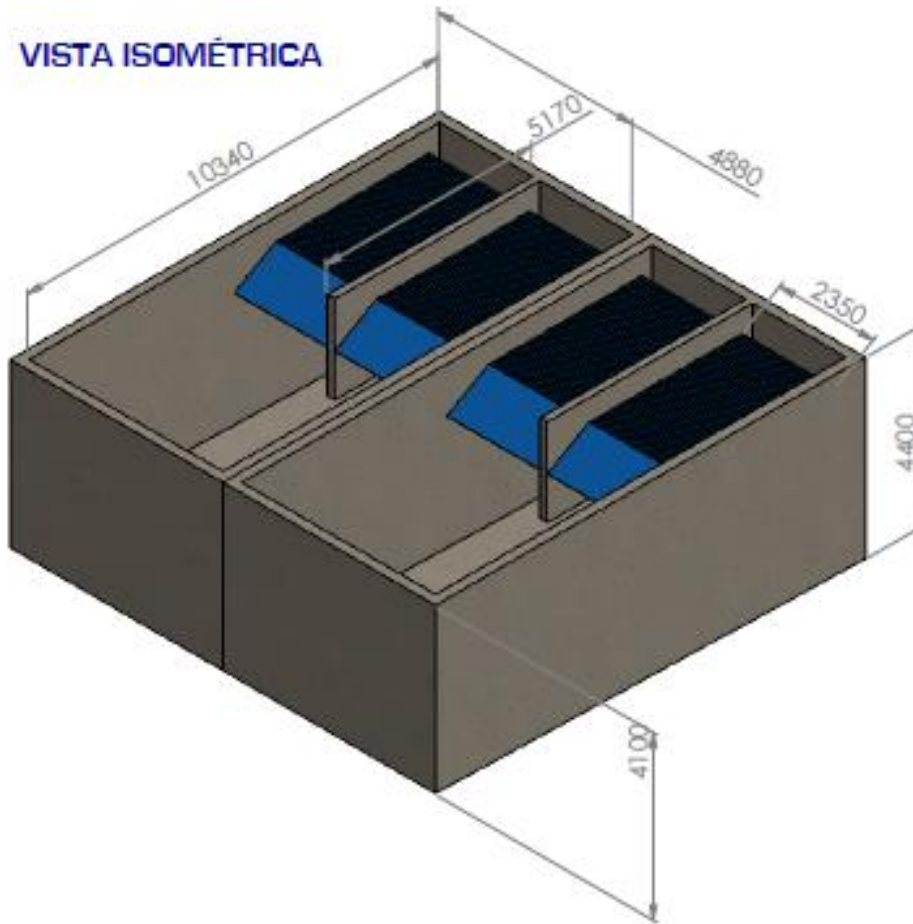
TEST DE JARRAS-DOSIFICACIÓN DEL POLICLORURO DE ALUMINIO



NOTA:	Categoría de Diagrama <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Para Información <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: ITAYA PESANTES T.	TEST DE JARRA		
			Lámina	Escala	Fecha
			6		2013/10/01

ANEXO VII

VISTA ISOMÉTRICA DEL SEDIMENTADOR LAMINAR



NOTA:	Categoría de Diagrama <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Aprobado <input checked="" type="checkbox"/> Para Información <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: ITAYA PESANTES T.	VISTA ISOMÉTRICA DEL SEDIMENTADOR LAMINAR		
			Lámina	Escala	Fecha
			7		2013/10/01

ANEXO VIII
NORMA INEN 1108: 2006. SEGUNDA REVISIÓN

INEN

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 108:2006
Segunda revisión

AGUA POTABLE. REQUISITOS.

Primera Edición

WATER DRINKING. SPECIFICATIONS.

First Edition

5. REQUISITOS

5.1 Requisitos Específicos

5.1.1 El Agua Potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo Permissible
Características físicas		
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	--	no objetable
Sabor	--	no objetable
pH	--	6,5 - 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/l	1 000
Inorgánicos		
Aluminio, Al	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH ₃)	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,005
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,3
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN	mg/l	0,0
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 - 1,5
Cloruros, Cl	mg/l	250
Cobalto, Co	mg/l	0,2
Cobre, Cu	mg/l	1,0
Cromo, Cr (cromo hexavalente)	mg/l	0,05
Dureza total, CaCO ₃	mg/l	300
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Flúor, F	mg/l	1,5
Fósforo, (P-PO ₄)	mg/l	0,1
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Litio, Li	mg/l	0,2
Manganeso, Mn	mg/l	0,1
Mercurio, Hg	mg/l	0,0
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Nitratos, N-NO ₃	mg/l	10
Nitritos, N-NO ₂	mg/l	0,0
Plata, Ag	mg/l	0,05
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Potasio, K	mg/l	20
Selenio, Se	mg/l	0,01
Sodio, Na	mg/l	200
Sulfatos, SO ₄	mg/l	200
Vanadio, V	mg/l	0,1
Zinc, Zn	mg/l	3
Radiactivos		
Radiación total α **	Bq/l	0,1
Radiación total β ***	Bq/l	1,0

* Cuando se utiliza cloro como desinfectante y luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos

NOTA:

Categoría de Diagrama

- Certificado
- Por aprobar
- Aprobado
- Para Información
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
REALIZADO POR: ITAYA PESANTES T.

NORMA INEN 1108:206. SEGUNDA
REVISIÓN

Lámina	Escala	Fecha
8		2013/11/17

ANEXO IX

CARACTERÍSTICAS DEL ABS - MATERIAL DE LAS PLACAS



QUIMICALZEN
 Productos Químicos. Calderos. Clarificación de agua. Plantas de agua. Equipos. Bombas dosificadoras. Ablandadores. Asesoría Técnica.

OFERTA

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO	V. TOTAL
48 m ²	Placas planas de sedimentación, fabricado en ABS virgen de 0.01 m de espesor.	\$67.5.00	\$ 3000.00
TOTAL			\$ 3000.00

SON: TRES MIL DOLARES

LA OFERTA NO INCLUYE

- IVA.
- Obras adicionales.

LA OFERTA INCLUYE

- Transporte de los módulos desde fábrica hasta el lugar de instalación.
- Instalación.

CARACTERÍSTICAS DE LAS PLACAS	
Material utilizado	ABS (Acrilonitrilo, Butadieno, Estireno) virgen
Espesor de láminas	0.01 m
Ángulo de las placas	60 °
Largo	1.22 m
Ancho	2.35 m
Color del material	Blanco
Sistema de fabricación	Prensado
CARACTERÍSTICAS DEL ABS	
1.	Atóxico
2.	Resistente a ácidos
3.	Resistente a álcalis
4.	Superficie completamente liza
5.	No higroscópico
6.	Con aditivos es resistente al UV
7.	Estabilidad dimensional
8.	Peso específico 1.14 g/m ³

La otra propuesta no se puede anexar por falta de información de parte de la empresa que provee las placas, ya que para acceder a la misma, era necesario mantener una reunión con la gerente de la empresa de agua potable de Chimbo. Pero por las especificaciones entregadas por QUIMICALZEM, y por el material que se utilizaba, se recomienda las placas propuestas por esta empresa.

<p>NOTA:</p>	<p>Categoría de Diagrama</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado</p> <p><input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Para Información</p> <p><input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>REALIZADO POR: ITAYA PESANTES T.</p>	<p>OFERTA DE QUIMICALZEM</p> <p>CARACTERÍSTICAS DEL ABS</p>						
			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 25%;">Lámina</th> <th style="width: 25%;">Escala</th> <th style="width: 50%;">Fecha</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">9</td> <td></td> <td style="text-align: center;">2013/11/17</td> </tr> </table>	Lámina	Escala	Fecha	9		2013/11/17
Lámina	Escala	Fecha							
9		2013/11/17							