



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
POTABLE CHAQUISHCA DE LA E.P-EMAPA-G”**

Tesis de grado previa la obtención al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: MARIA ELIZABETH SARANGO GALLEGOS

TUTOR: ING. HUGO CALDERÓN

Riobamba – Ecuador

-2016-

©2016, María Elizabeth Sarango Gallegos

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación “OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CHAQUISHCA DE LA E.P-EMAPA-G”, de responsabilidad de la señorita María Elizabeth Sarango Gallegos ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Hugo Calderón

.....

.....

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Mónica Andrade

.....

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

“Yo, MARÍA ELIZABETH SARANGO GALLEGOS, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis de grado; y el patrimonio intelectual de la Tesis de grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

MARÍA ELIZABETH SARANGO GALLEGOS

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y mantenerme de pie en todas las dificultades que se me presentaron a lo largo de este camino.

A mis queridos padres Lorenzo y Ercila por enseñarme a vivir, por la confianza, amor y apoyo incondicional, y porque son lo más valioso que tengo y mi mayor motivación para seguir adelante y lograr cumplir todas mis metas.

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser maravilloso, por haberme guiado a lo largo de mi carrera, porque me dió la fuerza y fe para creer en lo que parecía imposible terminar.

Al Ing. Hugo Calderón, Director del trabajo de Tesis y a la Ing. Mónica Andrade, Miembro del trabajo de Tesis por su gran ayuda profesional para la culminación de esta investigación.

A la E.P-EMAPA-G por el aval para la realización de la investigación, al Ing. Raúl Allán Responsable de la Planta de Tratamiento de agua potable Chaquishca de la ciudad de Guaranda.

Finalmente, el más sincero agradecimiento a mis padres, familiares y amigos, quienes confiaron en mí, y con quienes he compartido mis mejores y malos momentos; a todos gracias por su apoyo incondicional.

María Elizabeth

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN.....	i
SUMMARY.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	1
1 MARCO TEÓRICO	5
1.1 AGUA	5
1.1.1 Propiedades del agua.....	5
1.1.2 Fuentes de Abastecimientos.....	6
1.1.2.1 Tipos de Fuentes de Agua.....	7
1.1.3 Formas de Contaminación del Agua.....	8
1.2 AGUA POTABLE	9
1.2.1 CALIDAD DEL AGUA	10
1.2.1.1 Muestreo.....	10
1.2.1.1.1 Tipos de Muestras	11
1.2.1.1.2 Tipos de muestreo:	11
1.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE.....	11
1.2.2.1 Análisis Físico del Agua.....	12
1.2.2.2 Análisis Químico del Agua.....	16
1.2.2.3 Análisis Bacteriológico del Agua	19
1.3 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA.....	20
1.3.1 Medición de Caudales	20
1.3.1.1 Aforo.....	20
1.3.1.2 Método Velocidad-Área.....	20
1.3.1.3 Método del Molinete.....	21
1.3.1.4 Método del Flotador.....	22
1.3.1.5 Método del cubo	24
1.3.1.6 Método volumétrico.....	25

1.3.1.7	Método de vertedero y canaletas.....	26
1.3.2	Captación	27
1.3.2.1	Vertederos.....	27
1.3.2.1.1	Clasificación de los Vertederos	29
1.3.2.2	Medio de Transporte del Agua.....	35
1.3.2.3	AIREACIÓN.....	37
1.3.2.3.1	Tipos de Aireación.....	37
1.3.2.4	Aireador de bandejas.....	39
1.3.2.5	Criterios para el diseño de un Aireador de bandejas	39
1.3.2.5.1	Determinación del número de torres.....	39
1.3.2.5.2	Tiempo de exposición.....	40
1.3.2.6	MEZCLA RÁPIDA	40
1.3.2.7	COAGULACIÓN	43
1.3.2.7.1	Sustancias químicas empleadas en la coagulación	43
1.3.2.7.2	Modificadores de pH	45
1.3.2.7.3	Ayudantes de coagulación	45
1.3.2.7.4	Etapas de la coagulación.....	46
1.3.2.8	FLOCULACIÓN.....	46
1.3.2.8.1	Factores que influyen en la Floculación	48
1.3.2.9	SEDIMENTACIÓN	48
1.3.2.9.1	Clasificación de los procesos de sedimentación	49
1.3.2.9.2	Tipos de Sedimentadores	50
1.4	FILTRACIÓN.....	51
1.5	DESINFECCIÓN.....	52
1.5.1	Cloración	55
1.6	PARÁMETROS DE OPTIMIZACIÓN	58
1.6.1	Carga superficial.....	58

1.6.2	Velocidad crítica	58
1.6.3	Longitud Relativa.....	59
1.6.4	Número de Reynolds.....	59
1.6.5	Tiempo de Retención	60
1.6.6	Profundidad	60
1.6.7	Tiempo de retención.....	60
1.6.8	Determinación del número de placas N:	60
1.6.9	Criterios complementarios	61
1.7	TRATAMIENTO DE LODOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	62
1.7.1	Factores que caracterizan las propiedades del lodo.....	64
1.7.1.1	Características físicas.....	64
1.7.1.2	Características químicas	64
1.7.2	Tratamiento de lodos.....	66
1.8	DIAGRAMA DE LOS PROCESOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN.....	69
1.9	OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	70
1.10	PRUEBA DE JARRAS	70
2	PARTE EXPERIMENTAL	72
2.1	Localización de la Investigación	72
2.1.1	Recopilación de la información.....	72
2.2	MUESTREO	72
2.2.1	Recolección de Muestras.....	72
2.3	METODOLOGIA	73
2.3.1	Tratamiento de las muestras	73
2.3.2	EQUIPOS MATERIALES Y REACTIVOS.....	74
2.4	METODO Y TÉCNICAS.....	74
2.4.1	Métodos	74

2.5	DATOS EXPERIMENTALES	76
2.5.1	Descripción del estado actual de la Planta de Tratamiento	76
2.5.1.1	Procesos existentes.....	76
2.6	DATOS.....	77
2.6.1	CARACTERIZACIÓN DEL AGUA	77
3	CALCULOS Y RESULTADOS.....	80
3.1	OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN.....	80
3.1.1	AIREACIÓN	80
3.1.2	COAGULACIÓN.....	82
3.1.2.1	CALCULO DE LA DOSIFICACIÓN DEL PAC	82
3.1.3	SEDIMENTADOR.....	84
3.1.3.1	Número de placas N:.....	86
3.1.4	DESINFECCIÓN	88
3.2	RESULTADOS	90
3.2.1	Resultados de la Optimización de los Procesos de Potabilización	90
3.3	PROPUESTA	97
3.4	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	99
	CONCLUSIONES	
	RECOMENDACIONES	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1-1	Clasificación de la Dureza.....	17
Tabla 2-1	Valores característicos de C_d	32
Tabla 3-1	Valores del ángulo ϕ	34
Tabla 4-1	Criterios para el Diseño de Aireadores de Bandejas.....	39
Tabla 5-1	Tipos de Sedimentación.....	50
Tabla 6-1	Clasificación de los procesos de sedimentación según el sentido del flujo.....	51
Tabla 7-1	Cuadro comparativo de ventajas y desventajas de la dosificación del cloro y derivados.....	56
Tabla 8-1	Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares.....	61
Tabla 9-1	Parámetros de Diseño de las Placas de Asbesto-cemento.....	61
Tabla 10-1	Valores de S_c Típicos.....	61
Tabla 11-1	Viscosidad cinemática del agua a 1 Atmósfera.....	62
Tabla 12-1	Parámetros en la decantación de lodos.....	63
Tabla 13-1	Ventajas y desventaja de los sistemas de secado.....	68

CAPÍTULO II

Tabla 1-2	Puntos de Muestreo.....	73
Tabla 2-2	Parámetros de caracterización de Agua Potable.....	74
Tabla 3-2	Equipos, materiales y reactivos.....	75
Tabla 4-2	Método de análisis.....	76
Tabla 5-2	Análisis Físico-Químico y Bacteriológico- Entrada Agua en la Planta de Tratamiento Chaquishca mes febrero.....	77
Tabla 6-2	Análisis Físico - Químico y Bacteriológico-Entrada Agua en la Planta de Tratamiento Chaquishca mes de Marzo.....	78
Tabla 7-2	Análisis Físico - Químico y Bacteriológico-Entrada Agua en la Planta de Tratamiento Chaquishca mes de Abril.....	79

CAPÍTULO III

Tabla 1-3	Consideraciones actuales.....	83
Tabla 2-3	Resultado del proceso de aireación.....	90
Tabla 3-3	Determinación de número de placas.....	90
Tabla 4-3	Resultado de Análisis Físico Químico y Bacteriológico del Agua –Mes de Febrero.....	91
Tabla 5-3	Resultado de Análisis Físico Químico y Bacteriológico del Agua –Mes de Marzo.....	92
Tabla 6-3	Resultado de Análisis Físico Químico y Bacteriológico del Agua –Mes de Abril.....	93
Tabla 7-3	Tabla de resultados de la prueba de jarras efectuadas a la muestra que presentaron variación en la calidad del agua una turbiedad 30.16 NTU	94
Tabla 8-3	Tabla de resultados de la prueba de jarras efectuadas a la muestra que presentaron variación en la calidad del agua una turbiedad 247.05 NTU.....	94
Tabla 9-3	Resultado de la Dosificación de Cloro.....	95
Tabla 10-3	Resultado de la Caracterización del Agua a la salida.....	96
Tabla 11-3	Análisis de Costos de los equipos.....	98
Tabla 12-3	Costo total de la optimización del proceso de Sedimentación y Aireación.....	98
Tabla 13-3	Costo del Químico.....	98

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

CAPÍTULO I

Figura 1-1	Captación de agua superficial.....	8
Figura 2-1	Color verdadero y color aparente.....	12
Figura 3-1	Aforo del agua por el método velocidad área	21
Figura 4-1	Tipos de molinetes utilizados para el aforo de acequias, diques y canales.....	21
Figura 5-1	Sección transversal en el punto de aforo.....	22
Figura 6-1	Dividir el ancho del río, se mide las profundidades para obtener el promedio.....	24
Figura 7-1	Método del cubo.....	25
Figura 8-1	Aforo del agua por el método volumétrico.....	25
Figura 9-1	Vertedero.....	26
Figura 10-1	Obra de captación.....	27
Figura 11-1	Vertedero de cresta delgada.....	28
Figura 12-1	Vertedero puntos de referencia.....	29
Figura 13-1	Vertedero rectangular.....	29
Figura 14-1	Vertedero rectangular de cresta delgada sin contracción.....	30
Figura 15-1	Vertedero rectangular con y sin contracción.....	31
Figura 16-1	Vertedero Triangular.....	32
Figura 17-1	Características de los vertederos triangulares.....	33
Figura 18-1	Vertederos trapezoidales.....	33
Figura 19-1	Vertedero circular.....	34
Figura 20-1	Vertedero rectangular de pared delgada con contracciones.....	35
Figura 21-1	Vertedero rectangular.....	35
Figura 22-1	Medios de conducción del agua.....	36
Figura 23-1	Conducción de agua.....	37
Figura 24-1	Aireación.....	38
Figura 25-1	Aireador de bandejas.....	38
Figura 26-1	Mezcla rápida.....	41
Figura 27-1	Mezcladores Hidráulicos.....	41
Figura 28-1	Policloruro de Aluminio.....	42
Figura 29-1	Coagulación.....	43
Figura 30-1	Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal.....	47

Figura 31-1	Floculador Mecánico de Paletas.....	48
Figura 32-1	Sedimentador Simple.....	49
Figura 33-1	Planta y alzado de un sedimentador convencional.....	49
Figura 34-1	Dosificadores de cloro.....	53
Figura 35-1	Equipo de cloro-gas al vacío.....	54
Figura 36-1	Esquema de un termosifón para calentamiento de agua-desinfección solar.....	54
Figura 37-1	Dispositivo combinado desinfección solar.....	55
Figura 38-1	Secado de lodos.....	64
Figura 39-1	Curva de secado para identificar los tipos de humedad en el lodo.....	66
Figura 40-1	Etapas básicas para el manejo de desechos de PTAP convencionales.....	67
Figura 41-1	Sistema de secado Natural.....	67
Figura 42-1	Sistema de Deshidratación Mecánica.....	68
Figura 43-1	Diagrama de los procesos del tratamiento de agua para su potabilización.....	69
Figura 44-1	Prueba de jarras.....	71

CAPÍTULO II

Figura 1-2	Sistema de Tratamiento actual.....	76
------------	------------------------------------	----

CAPÍTULO III

Figura 1-3	Dimensiones de las bandejas para el aireador.....	84
Figura 2-3	Diseño de las placas de asbesto-cemento.....	89
Figura 3-3	Situación Actual y Propuesta de optimización.....	106

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1-3	Parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos. Mes-Febrero.....	109
Grafico 2-3	Parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos. Mes-Marzo.....	109
Grafico 3-3	Parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos. Mes-Abril.....	110
Grafico 4-3	Parámetros Físico-Químicos fuera y dentro de los Parámetros establecido.....	111
Grafico 5-3	Turbiedad 30.16 NTU.....	112
Grafico 6-3	Porcentaje de Remoción.....	112
Grafico 7-3	Turbiedad 247,05 NTU.....	113
Grafico 8-3	Porcentaje de Remoción.....	113

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I	NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 108:2006 AGUA POTABLE
Anexo II	FICHA TÉCNICA POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)
Anexo III	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUA POTABLE
Anexo IV	DISEÑO DEL SISTEMA DE AIREACIÓN
Anexo V	DISEÑO DEL SISTEMA DE SEDIMENTACIÓN
Anexo VI	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.
Anexo VII	GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Área superficial
As	Área de Sedimentación
C	Concentración de cloro
C	Concentración de acuerdo al test de jarras
Cl	Cloruros
Cs	Carga Superficial de Sedimentación
D	Separación entre placas
e	Espesor de las laminas
g	Gravedad
H	Altura con respecto al agua
Hs	Altura total del sedimentador
HTH	Hipoclorito de Calcio
l	Longitud de las placas
L	Longitud de Transición
L _{cr}	Longitud relativa del sedimentador de alta tasa corregida en la longitud de transición
lr	Longitud recorrida a través del elemento placa
Lr	Longitud relativa del sedimentador
Ls	Longitud del sedimentador
P	Porcentaje de dilución
Q	Caudal
Re	Número de Reynolds
Sc	Parámetro característico
T	Tiempo de retención
Trp	Tiempo de retención en las placas
ts	Tiempo de retención en el tanque de sedimentación
Vd	Volumen del sedimentador
v _o	Velocidad promedio de flujo entre placas
v _{sc}	Velocidad de sedimentación crítica
θ	Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación de alta tasa
ν	Viscosidad Cinemática

ρ	Densidad
L	Longitud relativa.
L'	Longitud relativa para la región de transición de las placas.
N	Número de placas necesarias
NTU	Unidades Nefelometrías de Turbidez
N_{Re}	Número de Reynolds
PAC	Policloruro de Aluminio
V	Volumen del tanque de sedimentación

RESUMEN

El propósito de esta investigación es la optimización de la planta de tratamiento de agua potable Chaquishca de la E.P-EMAPA-G, ubicada en la parroquia Guanujo, provincia de Bolívar.

Para el desarrollo de esta investigación se empleó el método experimental y la técnica de análisis donde se realizaron análisis físicos – químicos y microbiológicos durante tres meses en cada mes se ejecutó 5 muestras. Estos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de la planta de tratamiento Chaquishca utilizando los equipos necesarios para la determinación de los parámetros requeridos y el Test de jarras.

Mediante la caracterización del agua se determinó los parámetros que se encontraban fuera de norma con concentraciones de hierro 0,31 mg/L, turbidez 30.16 NTU y color 15 UTC, y en los días de lluvia con concentraciones elevadas de hierro 0,62 mg/L, turbidez 247.05 NTU y el color con 80 UTC.

Mediante la simulación de procesos y pruebas realizadas en base a estos resultados realizando la caracterización secundaria del agua ya tratada previamente, obteniendo en condiciones de verano concentraciones de hierro de 0.09 mg/L, turbidez de 0.40 NTU y color de 1.00 UTC, y en las condiciones de lluvia concentraciones de hierro de 0.07 mg/L, turbidez de 0.32 NTU y color de 1.00 UTC, encontrándose en ambas condiciones dentro de límite máximo permisible por la Norma Técnica INEN 1108:2006. Existen un sedimentador, donde entran dos filas de placas; se calcularon 94 placas inclinadas a 60°, de 1.20 m de longitud, 2.40 m de ancho y 0.01m de espesor, para cada fila, en total se tendrán 188 placas planas de sedimentación.

Se concluye que al realizar la optimización de la planta de agua potable que se distribuirá a la ciudad de Guaranda contará con características aceptables para su consumo, es por eso que el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guaranda debe implementar este proyecto con la finalidad de abastecer a la población de agua de calidad que garantice su salud y bienestar.

<PLANTA DE TRATAMIENTO >, <OPTIMIZACIÓN>, <PROCESOS DE POTABILIZACIÓN>, <SEDIMENTADOR>, <AIREACION >, < PARÁMETROS>, <TURBIEDAD>, < GUARANDA CIUDAD>.

SUMMARY

The purpose of this investigation is the Optimization of the Treatment Plant of Drinking Water Chaquishca from the Public Enterprise Municipal Enterprise of Drinking Water and Sewage – Guaranda E.P-EMAPA-G, located in the Parrish Guanujo, province of Bolivar. For the development of this investigation was employed the experimental method and the technique of sampling, where the physical-chemical and microbiologic analyses were made, during three months, in every month was execute five samples. These analyses were taken in the laboratory of The Treatment Plant Chaquishca by using the necessary equipment for the determination of the required parameters and the Jar Test. Consequently, with the characterization of water was determined the parameter that were found outside the norm with iron concentration 0.31 mg/L, turbidity 30.16 NTU and color with 80 UTC. By means of the processes simulation and proofs made based on the obtained results in the secondary characterization of water already treated previously, obtained in summer conditions: iron concentration of 0.09 mg/L, turbidity of 0.40 NTU, color of 1.00 UTC, and in rain conditions: iron concentration of 0.07 mg/L of 0.32 NTU and color of 1.00 UTC, both were found within the maximum limit allowable by the technique Norm INEN 1108:2006 for drinking water. It exists a settling tank, where two rows of plaques enter 94 plaques inclined to 60°, of 1.20m of longitude, 2.4m of width and 0.01 m of thickness, per each row, in total will have 188 flat plaques of sedimentation. It is concluded that at the moment to make the optimization of Drinking Water Plant will distribute water to the city of Guaranda with acceptable characteristics for its consumption, that is why the Decentralized Autonomous Government of the canton Guaranda must implement this Project with the aim to provide the population, quality water guaranteeing health and wellbeing to the inhabitants.

Key words: <PLANT OF TREATMENT CHAQUISHCA> <OPTIMIZATION>
<POTABILIZATION PROCESSES> <SETTLING TANK ><AERATION > <PARAMETERS >
<TURBIDITY > < GUARANDA CITY).

INTRODUCCIÓN

El agua es la esencia de la vida. El agua potable y el saneamiento son indispensables para la vida y la salud, y fundamentales para la dignidad de toda persona. La falta de agua es un problema que está afectando a gran parte del mundo en la actualidad.

La EP-EMAPA-G empresa encargada de realizar el tratamiento y suministro de agua potable en la ciudad, preocupada por los inconvenientes existentes, se ha visto obligada a tomar medidas correctivas. Los problemas son evidenciados en la calidad del agua que repercute en muchos casos por estética del líquido debido a la presencia de turbiedad color, hierro y manganeso, generalmente en los periodos de verano que siempre son críticos.

Actualmente los procesos que constituyen el sistema de tratamiento se encuentran operando al máximo de su capacidad, por lo que no puede tratar caudales adicionales que se van a incorporar al sistema de tratamiento, ya que actualmente la demanda del líquido vital es mayor.

Mediante la implementación de torres de aireación y el aumento de número de placas en el sedimentador, se logrará conseguir que llegue al funcionamiento óptimo, todo el proceso de potabilización.

De esta manera la EP-EMAPA-G dispondrá de suficiente líquido vital las 24 horas del día en toda la ciudad, además de que el agua que se entregue a la población sea de buena calidad y no perjudique la salud de los usuarios de acuerdo a los límites que exige la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006. Agua Potable.

ANTECEDENTES

La ciudad de Guaranda, capital de la provincia de Bolívar y cabecera del cantón Guaranda, es una de las más antiguas ciudades de la Región Interandina y del país. Es denominada la Ciudad de las 7 colinas enclavada en el centro del Ecuador. La ciudad de Guaranda cuenta con un servicio de Agua Potable a gravedad, abastecido por aguas subterráneas que afloran en distintos sitios del sector denominado el Arenal en las estribaciones del Chimborazo.

En el año 2003, mediante la ordenanza, el municipio crea la Empresa de agua potable y alcantarillado de Guaranda, EMAPA-G, para que se encargue de la administración operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad, el 3 septiembre del 2010 mediante ordenanza municipal se sustituye el nombre de EMAPA-G a EP. EMAPA-G. En el año del 2012 se ejecutó un plan maestro que consistió en el cambio de ciertos tramos de tubería de asbesto a tubería PVC, también se aumentó el caudal de agua que ingresa a la planta de potabilización, esto se logró aumentando el diámetro de la tubería de 200 mm a 250 mm en todo el sistema de conducción. La EP. EMAPA-G en el 2015 ha tomado acciones para mejorar y adecuar las instalaciones del Laboratorio de Control de Calidad.

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda, cuyas siglas EMAPA-G ejercerá su acción en el cantón Guaranda, provincia de Bolívar tiene como objetivo la prestación de los servicios de alcantarillado y agua potable.

La empresa es responsable de la administración, planificación, diseño, construcción, control, operación y mantenimiento de los sistemas para producción, distribución y comercialización de agua potable; así como de la conducción, regulación y disposición final de las aguas residuales de la ciudad, con el fin de preservar la salud de los habitantes y el entorno ecológico y contribuir el mantenimiento de las fuentes hídricas del cantón Guaranda y obtener una rentabilidad social y económica en sus inversiones.

Dado el rápido crecimiento de la ciudad, las ampliaciones forzadas del sistema de agua potable, el cumplimiento de la vida útil o período de diseño de las instalaciones, la falta del líquido vital en algunos sectores de la ciudad, la incorporación de parroquias dentro de la delimitación urbana, inciden en la urgente decisión del estudio y la implementación inmediata que permita corregir las deficiencias actuales en estos servicios básicos y brindar una agua de calidad para toda la ciudad de Guaranda.

JUSTIFICACIÓN

El agua potable es el líquido libre de contaminantes, fundamental para todas las necesidades humanas. Por esta razón es necesario examinar periódicamente muestras de agua ya que el consumo de agua contaminada puede causar problemas de salud.

La Planta de Tratamiento en Chaquishca, es una planta elemental con procesos sencillos para la potabilización del agua como son: Aireación, Sedimentación, Desinfección y Almacenamiento.

El propósito de este proyecto es la optimización de la Planta de Tratamiento Chaquishca, debido que sus procesos trabajan a más de su capacidad, por lo que para evitar que exista reboses de agua se ha implementado actualmente bypass y variantes que se conectan directamente a las reservas, lo que repercute en la calidad del agua, ya que no existe un proceso continuo de operación, es decir, que existe un déficit en la potabilización del agua cruda, ocasionando en época de invierno una contaminación por presencia de turbiedad que sobre pasa los límites permisibles exigidos por la normativa vigente, complicando en la estética del líquido vital y provocando molestias de la ciudadanía, debido a que el agua tratada se mezcla directamente en el tanque almacenamiento, a la vez se evidencia en la red de distribución presencia de gases ya que no existe una oxidación correcta de hierro y manganeso al no ingresar el agua en su totalidad al proceso de aireación.

Por esta razón la planta de tratamiento Chaquishca se ve en la necesidad de mejorar sus procesos de potabilización en las diferentes fases como es en la sedimentación y aireación para lograr mayor eficiencia. Mediante la optimización de la planta de tratamiento la empresa E.P-EMAPA-G desea garantizar a los habitantes agua potable en óptimas condiciones en calidad y cantidad que cumplan con todos los requerimientos establecidos en la norma NTE INEN 1108:2006 Agua Potable lo que justifica la importancia de esta investigación.

Finalmente la planta de tratamiento Chaquishca de la E.P-EMAPA-G proporcionará todas las facilidades correspondientes para el estudio de optimización y así desarrollar una metodología para los cambios y mejoras en los diferentes procesos y disminuir la cantidad de contaminantes, esto se realizara a partir de las condiciones reales de la planta y de tal forma aprovechar al máximo los procesos convencionales que son empleados en los tratamientos de agua potable y así satisfacer las necesidades de los pobladores.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- ✓ Optimizar la planta de tratamiento de agua potable Chaquishca de la E.P-EMAPA-G.

Objetivos específicos

- ✓ Evaluar el estado actual de la planta de tratamiento Chaquishca de la E.P-EMAPA-G.
- ✓ Realizar la caracterización físico-química y microbiológica del estado actual del agua de acuerdo a la norma NTE INEN 1108:2006 y a la norma NTE INEN 1108:2011. Agua potable.
- ✓ Identificar las variables del proceso que se requieren para la optimización del sistema de potabilización del agua.
- ✓ Plantear alternativas de mejora para el funcionamiento de la planta de agua sustentado en estudio técnico y económico.
- ✓ Validar el sistema de tratamiento propuesto mediante la caracterización física -química y microbiológica del agua al final del proceso de potabilización.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 AGUA

El agua es el líquido más abundante en el planeta Tierra, y a la vez es una sustancia fundamental para la vida de las personas y de todos los seres vivos. El agua se puede presentar en tres estados: sólido, líquido o gaseoso, conformando el denominado “ciclo del agua”, tiene la particularidad de permitir el paso directo de un estado a otro en cualquier sentido, lo cual no ocurre en muchas otras sustancias.

1.1.1 Propiedades del agua

Sin duda alguna, el agua es la biomolécula más abundante, y también la más importante desde el punto de vista fisicoquímico, El agua reúne una serie de características que la convierten en un disolvente único e insustituible en la biosfera y presenta características físicas y químicas:

❖ **Densidad**

La densidad del agua líquida es altamente estable y varía poco con los cambios de temperatura y presión. A presión normal de 1 atmósfera, el agua líquida tiene una mínima densidad a 100 °C, cuyo valor aproximado es 0,958 Kg/l.

❖ **Disolvente**

El agua es un disolvente polar, disuelve bien sustancias iónicas y polares; no disuelve apreciablemente sustancias fuertemente apolares, como el azufre en la mayoría de sus formas, y es inmisible con disolventes apolares, como el hexano. Esta propiedad es de gran importancia para la vida.

❖ **Polaridad**

La molécula de agua es muy dipolar. Los núcleos de oxígeno son muchos más electronegativos (atraen más los electrones) que los de hidrógeno, lo que dota a los dos enlaces de una fuerte polaridad eléctrica, con un exceso de carga negativa del lado del oxígeno, y de carga positiva del lado de los hidrógenos.

❖ **Temperatura de fusión y evaporación**

Presenta su punto de ebullición de 100 °C (373,15 K) a presión de una atmósfera.

❖ **Conductividad**

La conductividad eléctrica de una muestra de agua es la expresión numérica de su capacidad para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones en el agua, de su concentración total, de su movilidad, de su carga y de las concentraciones relativas, así como de la temperatura.

De los muchos factores que afectan el comportamiento de los iones en solución, las atracciones y repulsiones eléctricas entre iones y la agitación térmica, son quizá los más importantes. Estos efectos se expresan a través de un parámetro conocido como fuerza iónica, μ :

$$\mu = \frac{1}{2} \sum C_i Z_i^2$$

Donde C_i y Z_i representan la concentración y carga iónica del componente i .

❖ **Tensión superficial**

Por su misma propiedad de cohesión, el agua tiene una gran atracción entre las moléculas de su superficie, creando tensión superficial. La superficie del líquido se comporta como una película capaz de alargarse y al mismo tiempo ofrecer cierta resistencia al intentar romperla; esta propiedad contribuye a que algunos objetos muy ligeros floten en la superficie del agua.

Además, el agua es necesaria para procesos fundamentales como la ósmosis y la difusión a través de distintos tipos de membranas.

❖ No posee propiedades ácidas ni básicas.

1.1.2 Fuentes de Abastecimientos

El origen o fuentes de abastecimiento y suministro de agua para consumo como agua potable son muy importantes en lo referente a su calidad y composición. Se pueden dividir las fuentes de abastecimiento en fuentes superficiales y fuentes subterráneas.

Las fuentes de agua constituyen el elemento primordial en el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable y antes de cualquier paso es necesario definir su ubicación, tipo, cantidad y calidad. De acuerdo a la ubicación y naturaleza de la fuente de abastecimiento, así como a la topografía del terreno, se consideran dos tipos de sistemas: los de gravedad y los de bombeo.

En los sistemas de agua potable por gravedad, la fuente de agua debe estar ubicada en la parte alta de la población para que el agua fluya a través de tuberías, usando solo la fuerza de la gravedad. En los sistemas de agua potable por bombeo, la fuente de agua se encuentra localizada en elevaciones

inferiores a las poblaciones de consumo, siendo necesario transportar el agua mediante sistemas de bombeo a reservorios de almacenamiento ubicados en elevaciones superiores al centro poblado.

Para el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable, es importante seleccionar una fuente adecuada o una combinación de fuentes para abastecer de agua en cantidad suficiente a la población. De acuerdo a la forma de abastecimiento se consideran tres tipos principales de fuente: aguas de lluvia, aguas superficiales y aguas subterráneas.

1.1.2.1 Tipos de Fuentes de Agua

❖ *Agua de lluvia*

La captación de agua de lluvia se emplea en aquellos casos en los que no es posible obtener aguas superficiales y subterráneas de buena calidad y cuando el régimen de lluvias sea importante. Para ello se utilizan los techos de las casas o algunas superficies impermeables para captar el agua y conducirla a sistemas cuya capacidad depende del gasto requerido y del régimen pluviométrico.

❖ *Agua superficial*

Las aguas superficiales están constituidas por los arroyos, ríos, lagos, etc. que discurren naturalmente en la superficie terrestre. Estas fuentes no son tan deseables, especialmente si existen zonas habitadas o de pastoreo animal aguas arriba. Sin embargo, a veces no existe otra fuente alternativa en la comunidad, siendo necesario para su utilización, contar con información detallada y completa que permita visualizar su estado sanitario, caudales disponibles y calidad de agua.

Ríos: Requieren un mayor tratamiento, debido a su turbiedad, grado de contaminación, contenido mineral, variación de temperatura. Se prefiere solo cuando no hay otras fuentes.

Lagos naturales: Proporcionan agua de calidad, necesitan un tratamiento mínimo, la disponibilidad de agua ilimitada constituye una ventaja decisiva. Sin embargo, se descargan aguas negras a los mismos, se debe localizar cuidadosamente los puntos de toma de muestras.

Embalses: La cantidad de agua de una corriente está sujeta a variaciones, por este motivo se crea embalses para almacenar agua de lluvia, debido al reposo se da una sedimentación, la desventaja generación de malos olores y sabor desagradable. Los lagos, represa y embalses dan un agua de mejor calidad que la mayoría de las corrientes, debido al efecto benéfico de la auto-purificación por sedimentación y reposo.

❖ Agua subterránea

Parte de la precipitación en la cuenca se infiltra en el suelo hasta la zona de saturación, formando así las aguas subterráneas. La explotación de estas dependerá de las características hidrológicas y de la formación geológica del acuífero.

La captación de aguas subterráneas se puede realizar a través de manantiales, galerías filtrantes y pozos (excavados y tubulares).

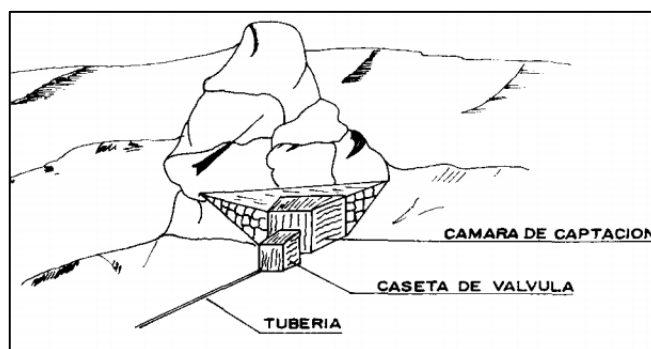


Figura 1-1 Captación de agua superficial

Fuente:http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358002/agua_potable4.pdf

Pozos poco profundos: Su profundidad menor es a 30 metros, los mismos pueden ser cavados o entubados.

Pozos profundos: Se perforan a través de superficies rocosas para extraer el agua de las grietas, hasta localizar los estratos acuíferos más profundos. Generalmente tienen un diámetro de 15 a 30 cm, pero pueden ser mayores.

Los recubrimientos metálicos pueden proporcionar una protección efectiva contra la introducción de aguas superficiales y aguas subterráneas contaminadas, siempre y cuando el recubrimiento este bien soldado.

Manantiales: Se puede definir un manantial como un lugar donde se produce un afloramiento natural de agua subterránea. El agua de manantial fluye por lo general a través de una formación de estratos con grava, arena o roca fisurada. El agua de manantial es pura, y por lo general, se la puede usar sin tratamiento, de acuerdo al Ministerio de Salud, los manantiales se clasifican por su ubicación y su afloramiento.

1.1.3 Formas de Contaminación del Agua

Existe un impacto significativo en la calidad del agua, debido a un alto porcentaje de contaminantes presentes. Los contaminantes, normalmente son de difícil definición y cuantificación, debido a esto los programas de control no los consideran frecuentemente.

Las formas de contaminación del agua se dividen en dos tipos:

Puntuales: Se descargan en puntos definidos o zonas muy localizadas, como las emisiones por desagües, industrias, etc.

Este tipo de contaminación suele ser más intensa junto al lugar de origen y se va diluyendo al alejarnos. Las encontramos en:

- ✓ Lixiviados de vertederos de residuos urbanos.
- ✓ Fugas en sus depósitos de combustible.
- ✓ Lixiviados de vertederos industriales.
- ✓ Depósitos de residuos radiactivos o tóxicos mal aislados.
- ✓ Pozos sépticos y acumulaciones de purines procedentes de las granjas.
- ✓ Fugas de aguas residuales que se infiltran en el terreno.

No puntuales: Está asociada a las aguas de lluvia, deshielo, percloración, etc. La contaminación difusa es la que está asociada a fuentes no puntuales. A medida que la lluvia cae, conduce a la contaminación natural o producida por el hombre.

- ✓ Contaminación Difusa.
- ✓ Uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en la agricultura o en las prácticas forestales.
- ✓ Explotación excesiva de los acuíferos.

Este tipo de contaminación puede provocar situaciones especialmente preocupantes con el paso del tiempo, al ir cargándose de contaminación, lenta pero continuamente, zonas muy extensas.

1.2 AGUA POTABLE

Se llama agua potable al agua dulce que tras ser sometida a un proceso de potabilización se convierte en agua potable, quedando así lista para el consumo humano como consecuencia del equilibrado valor que le imprimen sus minerales; de esta manera, el agua de este tipo, podrá ser consumida sin ningún tipo de restricciones.

Para llevar a cabo la potabilización será necesario realizar un análisis fisicoquímico y bacteriológico de la fuente a tratar para así elegir la mejor técnica. La mayoría de las veces luego de la captación se utilizará el sulfato de aluminio que facilita la separación de partículas en la floculación, luego se las decanta, filtra y desinfecta con cloro u ozono.

La confirmación que el agua ya es potable estará dada cuando se presente inodora, incolora e insípida. Es decir que debe cumplir las normas de calidad difundidas tanto físico-químicas como microbiológicas. La potabilización se realiza sobre aguas de manantiales naturales como aguas subterráneas generalmente.

Hay que estar conscientes que existen sustancias peligrosas para el agua potable como el arsénico, el cadmio, el zinc, el cromo, los nitratos y nitritos y las razones de la no potabilidad del agua se dan

como consecuencia de la presencia de bacterias, virus, minerales en presentación de partículas o disueltos, productos tóxicos, depósitos o partículas en suspensión.

1.2.1 CALIDAD DEL AGUA

El término calidad del agua es relativo y sólo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso.

La calidad del agua que se encuentra en la naturaleza es muy variable y depende fundamentalmente de las condiciones geográficas y climáticas de la oportunidad que tenga para disolver gases, sustancias minerales y orgánicas, o para mantenerlas en suspensión o en estado coloidal; de su temperatura, volumen, flora microbiana y de la contaminación producida por las actividades propias de colectividad.

El término calidad del agua es relativo y sólo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria.

Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse de acuerdo uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial.

La calidad del agua, es un estado que esta, caracterizado por su composición físico-química y biológica. Este estado deberá permitir su empleo sin causar daño, para lo cual deberá reunir dos características:

- ✓ Estar exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores.
- ✓ Estar exenta de sustancias que le comuniquen sensaciones sensoriales desagradables para el consumo (color, turbiedad, olor, sabor).

Agua potable es el agua, ya sea de superficie o subterránea, tratada y el agua no tratada por no estar contaminada. La definición de agua potable se ha ido adaptando al avance del conocimiento científico y a las nuevas técnicas, en especial a las relacionadas con el análisis de contaminantes.

1.2.1.1 Muestreo

El muestreo de agua consiste en extraer una porción representativa de una masa de agua con el propósito de examinar diversas características. Las muestras deben ser representativas, en todo lo posible, del conjunto que va a caracterizarse y deberán tomarse las precauciones que sean posibles para conservar la muestra de agua, de tal forma que no experimente ninguna modificación desde el momento de su toma hasta su análisis. Se deberá adecuar la frecuencia del muestreo a la situación concreta.

1.2.1.1.1 Tipos de Muestras

❖ Muestras Simples o de sondeo

Una muestra representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias particulares en las que se realizó su captación. Cuando la composición de una fuente es relativamente constante a través de un tiempo prolongado o a lo largo de distancias sustanciales en todas las direcciones, puede decirse que la muestra representa un intervalo de tiempo o un volumen más extensos. En tales circunstancias, un cuerpo de agua puede estar adecuadamente representado por muestras simples, como en el caso de algunas aguas de suministro, aguas superficiales, pocas veces, efluentes residuales.

❖ Muestras Compuestas

Son las mezclas de muestras simples recogidas en el mismo punto en distintos momentos. También se suelen denominar muestras “compuestas tiempo” para distinguirlas de las que podríamos considerar “compuesta-espacio”.

❖ Muestras Integradas

Son mezclas de muestras individuales que se recogen en distintos puntos al mismo tiempo. Muestras de este tipo son las que hay que recoger en lagos, embalses, ríos o corrientes en los cuales la composición puede variar tanto en anchura como en profundidad.

1.2.1.1.2 Tipos de muestreo:

a) Muestreo manual

El muestreo manual requiere de un mínimo de equipo, pero para programas de muestreo a gran escala o de rutina puede ser excesivamente costoso y de manejo dispendioso.

b) Muestreo automático

Los equipos de muestreo automático pueden eliminar errores humanos, inherentes al muestreo manual, reducen los costos y permiten aumentar la frecuencia del muestreo. El muestreador no debe contaminar las muestras, es el caso de los recipientes plásticos incompatibles para almacenar muestras que contienen compuestos orgánicos y que solubilizan los componentes plásticos.

En algunos casos un muestreador manual con recipiente de vidrio puede resultar más adecuado.

1.2.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE.

Para conocer las características del agua se deben realizar una serie de análisis en el laboratorio que se clasifican en:

- ❖ Físicas
- ❖ Químicas
- ❖ Microbiológicas

1.2.2.1 Análisis Físico del Agua

❖ Turbiedad

La turbiedad en el agua puede ser ocasionada por gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros como arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica, organismos plantónicos y microorganismos.

Al incidir la luz en una suspensión de partículas en solución acuosa, estas pueden remitirlas, en distintas direcciones, con la misma longitud de onda de la luz incidente. Una porción de la luz puede emitirse con longitud de onda mayor que la de la luz incidente y una porción de energía puede emitirse como radiación de longitud de onda grande o calor. El tipo de emisión depende básicamente del tamaño de las partículas y de su forma, así también como de la longitud de onda de la luz incidente.

El método más usado para la determinación de la turbiedad es el método nefelómetro, en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro que se expresan en unidades de turbidez nefelométrica (UTN). Este método compara la intensidad luz dispersada por una suspensión estándar de referencia en las mismas condiciones de medida. Es decir, cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada mayor será la turbiedad.

Los valores de turbidez sirven para establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para la potabilización del agua.

❖ Color

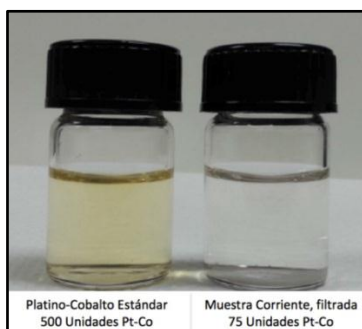


Figura 2-1 Color verdadero y color aparente.

Fuente: <http://quimicotecnica.com/web/wp-content/uploads/2015/04/color1.png>

El color en el agua se debe al resultado de la presencia de iones metálicos naturales como el hierro y manganeso coloidal o en solución, humus, turba, plancton, vegetales y desechos industriales.

- ✓ *Color*: Es el color verdadero del agua, después de que se elimina la turbiedad.
- ✓ *Color aparente*: Es el color producido por las sustancias disueltas y materiales en suspensión en el agua.

El término de color se refiere al color verdadero del agua y se lo mide junto con el pH ya que de este depende la intensidad de color.

Interferencia: El color verdadero se ve interferido por la turbiedad, incluso si esta es ligera. La turbiedad puede ser eliminada mediante filtración por membrana de 0.45 mm. El filtrado proporciona resultados reproducibles, pero en ocasiones puede eliminar parte del color real. Otra opción es la centrifugación, la cual evita interacciones con los materiales del filtro, pero los resultados varían con la naturaleza de la muestra y el tiempo y velocidad de la centrifugación.

Método: Se utilizan dos métodos para medir el color del agua y aguas residuales utilizando la longitud de onda con colores y características similares a los estándares del Pt-Co/APHA/Hazen, en donde su rango va de 0-500 en Unidades de Color Platino.

Una unidad de color es el color producido por 1 mg / L de platino en forma de ion cloro-platino. La Organización Mundial de la Salud recomienda que el consumo de agua de color no exceda de 15 unidades de color verdadero.

El otro método es utilizando un espectrofotómetro para medir la absorbancia de luz cuando pasa a través de una muestra en la longitud de onda de 455nm.

El color tiene que ser eliminado del agua para que pueda ser utilizada. Su remoción se efectúa con un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Al y Fe.

Se puede utilizar la siguiente fórmula para la medición del color:

$$\text{Unidades de color} = \frac{A \times 50}{V}$$

Dónde:

A = unidades de color de la muestra diluida.

V = ml de muestra tomados para la dilución.

❖ **Olor y sabor**

El olor y sabor están estrechamente relacionados y son prácticamente indistinguibles. Las causas comunes de olores y sabores en el agua pueden ser: materia orgánica en solución, H₂S, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, fenoles, aceites, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etc. Estas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor.

La determinación del olor y sabor en el agua es útil para evaluar la calidad del agua, su aceptabilidad, para el control de procesos de una planta y para determinar la fuente de una posible contaminación.

El método más usado consiste en determinar la relación de la dilución a la cual el olor o sabor es apenas detectable. El valor de dicha relación se expresa como número detectable (ND) de olor o de sabor.

❖ **pH**

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. No tiene efectos directos sobre la salud, pero puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección.

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua.

❖ **Temperatura**

La temperatura es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio. Por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la desinfección y los procesos de mezcla (floculación, sedimentación y filtración).

La determinación de la temperatura puede hacerse con un termómetro de mercurio de buena calidad. El termómetro debe sumergirse en el agua acompañada de movimiento y efectuar la lectura después de un tiempo suficiente que permita la estabilización del nivel de mercurio. El mercurio es venenoso por lo tanto se debe prevenir cualquier posible rotura del termómetro en el agua para el consumo.

❖ **Sólidos**

Se denomina a toda la materia sólida presente en el agua y se clasifican en:

Sólidos totales (ST)

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

Sólidos disueltos (SD)

Sólidos disueltos o también conocidos como sólidos filtrables. Se los determina directamente o por diferencia entre sólidos totales y sólidos suspendidos. Si la determinación de sólidos es directa y el residuo de la evaporación se seca a 103-105°C.

Sólidos suspendidos (SS)

Mejor conocidos como sólidos no filtrables o material no disuelto. Son determinados por la filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch previamente pesado. El crisol con su contenido se seca a 103-105°C; el incremento de peso, sobre el peso inicial representa el contenido de sólidos suspendidos o residuo no filtrable.

Sólidos volátiles y sólidos fijos (Sv/Sf)

El contenido de sólidos volátiles se interpreta en términos de materia orgánica, teniendo en cuenta que a 550 ± 50°C. La materia orgánica se oxida a una velocidad razonable, formando CO₂ y H₂O que se volatilizan. Pero la interpretación no es exacta puesto que la pérdida de peso incluye también pérdidas debidas a descomposición o volatilización de ciertas sales minerales.

❖ Conductividad

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, 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 esta 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 usual de medir la conductividad en aguas es mediante instrumentos comerciales de lectura directa en μ mho/cm a 25°C, con un error menor del 1%. La conductividad leída es igual a la conductividad eléctrica de la muestra medida entre capas opuestas de un cubo de 1cm.

La resistencia específica de un conductor en función de sus dimensiones se puede expresar como:

$$C = \frac{RA}{L}$$

Dónde:

C= resistencia específica, ohmio-cm

R=resistencia, ohmio

A=área de la sección transversal del conductor, cm²

L=longitud del conductor, cm

La conductancia específica de un conductor es inversa a su resistencia específica, o sea:

$$K = \frac{1}{C} = \frac{L}{RA}$$

Dónde:

K = conductancia específica, mho/cm

Es decir, la conductancia de un conductor de 1 cm de longitud y una sección transversal de 1cm^2 , por tanto, numéricamente es igual a la conductividad.

1.2.2.2 *Análisis Químico del Agua*

❖ **Alcalinidad**

La alcalinidad del agua se define como la capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad de reaccionar con iones hidrogeno, como su capacidad para aceptar protones como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH). La determinación de la alcalinidad total y de las diferentes formas de alcalinidad es importante en los procesos de coagulación química, ablandamiento, control de corrosión y evaluación de la capacidad tampón de un agua.

❖ **Amonios**

El ion amonio presente en el agua se expresa en mg/L. Las concentraciones naturales en aguas subterráneas y superficiales suelen ser menores que 0,2 mg/L. Esta concentración no representa riesgo para la salud del consumidor. No obstante, el amoniaco puede reducir la eficiencia de la desinfección, ocasionar la formación de nitrito en sistemas de distribución, obstaculizar la eliminación de manganeso mediante filtración y producir problemas organolépticos.

❖ **Acidez**

La acidez de un agua se puede definir 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 acidas. Las aguas que son excesivamente acidas atacan los dientes.

La determinación de la acidez en el agua es importante debido a las características corrosivas de las aguas acidas, así como al costo que suponen la remoción y el control de las sustancias que producen corrosión.

❖ **Calcio**

Junto con el magnesio son los principales causantes de la dureza. Las concentraciones de calcio en aguas varían mucho, pero en general suelen ir asociadas al nivel de mineralización; por esta razón, las aguas subterráneas habitualmente presentan contenidos mayores a las superficiales correspondientes. Las unidades utilizadas para su medición son mg/l.

❖ **Magnesio**

Es uno de los minerales que junto con el calcio produce la dureza del agua. En cantidades importantes puede producir efectos laxantes. Las unidades utilizadas para su medición son mg/l.

❖ **Dureza**

Se considera como aguas duras aquellas que requieren grandes cantidades de jabón para generar espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente, calentadores calderas y otras unidades en las cuales se incrementa la temperatura del agua. La dureza se expresa en mg/L como CaCO_3 .

La dureza de las aguas se puede clasificar de la siguiente manera:

Tabla 1-1. Clasificación de la Dureza

0-75 mg/L	BLANDA
75-150 mg/L	MODERADAMENTE DURA
150-300 mg/L	DURA
>300 mg/L	MUY DURA

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: Calidad del Agua .Jairo Alberto Romero Rojas 3ª edición

❖ **Sulfatos**

El ion sulfato, uno de los aniones más comunes en las aguas naturales, se encuentran en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles mg/L. Los sulfatos de sodio y magnesio tienen un efecto purgante, especialmente en niños, se recomienda un límite superior en aguas potables de 250 mg/L de sulfatos. Es imprescindible que se detecten los sulfatos debido a que pueden provocar incrustaciones en intercambiadores de calor o equipos de calefacción.

❖ **Sulfuros**

Se encuentran en aguas como resultado de la descomposición anaerobia de la materia orgánica y de la contaminación con residuos de curtiembres, fábricas de papel y otras industrias. Los sulfuros se presentan en el agua en forma de S^{2-} , HS^- o H_2S , según el pH. Producen sabor y olor muy desagradables, son indeseables en abastecimientos y tóxicos en forma no ionizada.

❖ **Cloruros**

Son compuestos solubles de cloro que pertenecen solubles en el agua y no son alterados por procesos biológicos, los cloruros incrementan la cantidad de sólidos disueltos en el agua y las incrustaciones además de indicar contaminación con aguas residuales.

Las concentraciones de cloruros en climas cálidos son de 1.000 mg/L que pueden ser nocivas por el alto consumo de agua. Las aguas lluvias pueden contener desde 0,02 mg/L hasta más de 200 mg/L, mientras que en aguas subterráneas son comunes valores de entre 10 y 200 ppm, un contenido mayor a 300 ppm crea condiciones corrosivas por acidez, adquiriendo un sabor salado, el régimen de purga mantiene la concentración permisible.

❖ **Fluoruros**

El flúor es el elemento no metálico más reactivo conocido, formando fluoruros con elementos orgánicos e inorgánicos; por ello los fluoruros se encuentran en forma natural en aguas, especialmente en aguas subterráneas.

❖ **Hierro**

Las concentraciones altas de hierro mayores a 2 mg/L, imparten color y sabor desagradable; no se conocen efectos nocivos para la salud. Causa tinciones en la ropa, cambia el color del café, del té y de otras bebidas. En el agua se encuentra como bicarbonato ferroso, $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, hidróxido ferroso, sulfato ferroso o hierro orgánico quelatado.

❖ **Manganeso**

Imparten sabor desagradable y mancha la ropa. Sirve como nutriente de especies de organismos indeseables en los filtros y en el sistema de distribución de agua. Debido a su sabor desagradable, no constituye riesgo para la salud. En dosis de 0,4 mg/L produce un sabor tan desagradable que el consumidor rechaza el agua. Es un elemento esencial, para el cual se sugiere un consumo de 2 a 10 mg/d; su concentración es generalmente menor al hierro.

❖ **Fluoruros**

El flúor es el elemento no metálico más reactivo, conocido, formando fluoruros con elementos orgánicos e inorgánicos. Los fluoruros se encuentran en forma natural en aguas, especialmente en aguas subterráneas. El límite permisible de flúor fluctúa entre los de 0.8 a 1.2 mg/L, siendo benéfico para el esmalte dental. Si se excede los límites genera manchas permanentes.

❖ **Nitritos**

Es la representación toxica del nitrógeno inorgánico en el agua, debido a la oxidación bacteriana: proteínas-amonio-nitritos-nitratos.

Son un indicador de contaminación, ya que se genera una nitrificación incompleta.

❖ **Nitratos**

La presencia de nitratos se debe en su mayoría a la contaminación por aguas residuales y fertilizantes. Un consumo mayor a los 10 mg/L produce metahemoglobinemia en recién nacidos.

❖ **Fosfatos**

La presencia de los fosfatos está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos, entre otros. Las unidades utilizadas para su medición son mg/l.

Las especies químicas de fósforo más comunes en el agua son los ortofosfatos, los fosfatos condensados (piro, meta y polifosfatos) y los fosfatos orgánicos.

1.2.2.3 *Análisis Bacteriológico del Agua*

El análisis microbiológico significa que el agua potable para ser considerada como tal, debe estar exenta de toda bacteria u organismo patógeno que pueden ser: bacterias, virus protozoos y otros organismos que son los responsables de transmitir enfermedades.

❖ **Bacterias Coliformes**

Son organismos patógenos indicadores de contaminación productores de enfermedades. Los *Coliformes* reagrupan ciertas especies bacterianas pertenecientes a la familia *Enterobacteriaceae*, de morfología bacilar, *Gramnegativas*, aerobias o anaerobias facultativas, oxidasa negativa, no esporuladas que fermentan la lactosa con producción de ácido a 37°C en 24 a 48 horas.

Del grupo *coliformes* forman partes de varios géneros:

- ✓ *Escherichiacoli* produce dolor abdominal, diarrea, náuseas, vómitos y fiebre.
- ✓ *Klebsiella* produce enfermedades respiratorias.
- ✓ *Citrobacter* produce alteraciones a nivel del colon y a nivel intestinal.

❖ **Coliformes fecales**

Las coliformes de origen fecal son aquellas comprendidas en el grupo anterior (coliformes totales), que son capaces de fermentar la lactosa, con producción de ácido y de gas a 44°C, en un tiempo máximo de 24 horas. El método consiste en determinar el número de coliformes mediante filtración de volúmenes determinados de agua a analizar por filtros de membrana e incubación sobre medio de lactosa enriquecido en agar de lactosa TTC con heptadecilsulfato de sodio y una temperatura de 44.5°C(±0.2°C)

❖ **Enterococos fecales**

Los *enterococos* son considerados como indicadores de contaminación fecal. Existen algunos *enterococos* presentes en las aguas que pueden proceder de otros hábitats.

La norma ISO 7899-2:2011, especifica un método para la detección y recuento de *enterococos* intestinales en aguas, por filtración en membrana. Esta norma, está especialmente adaptada para el análisis de aguas potables, aguas de piscinas y otros tipos de aguas limpias o desinfectadas.

❖ *Clostridium perfringens*

Las bacterias incluidas en el género *Clostridium* tienen morfología bacilar, son Gram positivas, anaerobias y capaces de formar espora. La especie *C. perfringens* están normalmente presente en heces. Sus esporas son resistentes al calor, a los procesos de desinfección y a los tratamientos de depuración habituales de las aguas (cloración), por lo que su supervivencia en aguas es mayor.

1.3 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA

El proceso de tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o microbiológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales.

1.3.1 Medición de Caudales

1.3.1.1 Aforo

El aforo es la operación de medición del caudal en una sección de un curso de agua. En los ríos se mide en forma indirecta, teniendo en cuenta que:

$$\text{CAUDAL} = \text{VELOCIDAD} \times \text{AREA}$$

$$Q [\text{m}^3/\text{seg}] = V [\text{m}/\text{seg}] \times A [\text{m}^2]$$

1.3.1.2 Método Velocidad-Área

El método consiste entonces en medir la sección del curso y la velocidad en la misma. Ello se hace a través de verticales referidas a las márgenes en las que se mide profundidad y velocidad. Se determinan así áreas parciales y velocidades medias en las áreas parciales con las cuales se determinan caudales parciales, cuya sumatoria arroja el caudal total.

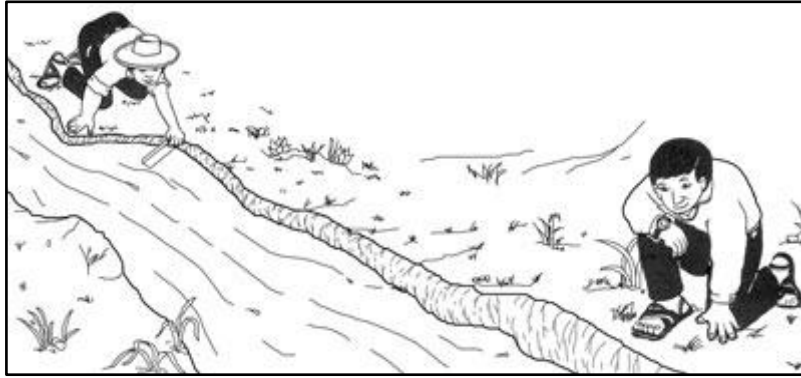


Figura 3-1. Aforo del agua por el método velocidad-área.
Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-2sas.htm>

Este método es utilizado para hallar el caudal en corrientes superficiales y canales abiertos.

$$Q = v \times A$$

Dónde:

Q: caudal en m³/s

v: velocidad en m/s

A: área m²

1.3.1.3 Método del Molinete

El medidor de corriente o molinete es un dispositivo constituido por una serie de paletas las cuales giran al estar en contacto con una corriente de agua, siendo el número de revoluciones proporcional a la velocidad de la corriente.

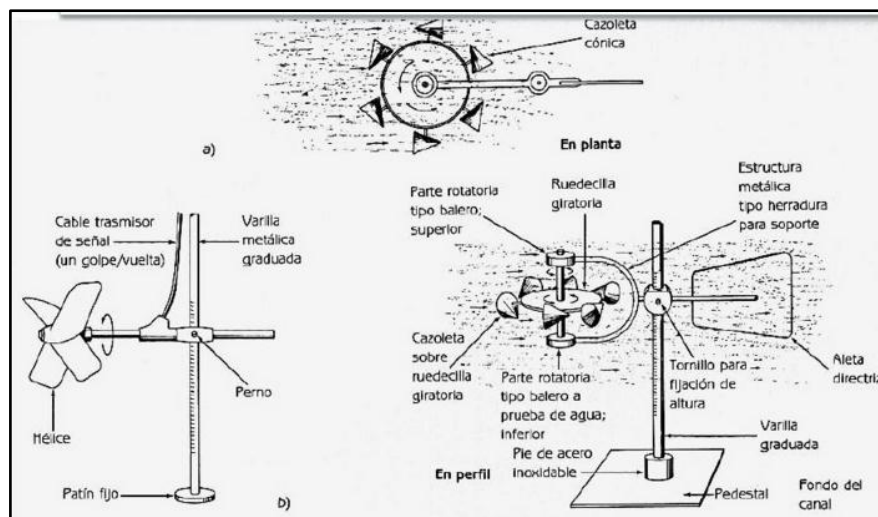


Figura 4-1. Tipos de molinetes utilizados para el aforo de acequias, diques y canales. a) de cazoletas. b) de hélice.

Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-2sas.htm>

Este método consiste básicamente en medir en un área transversal de la corriente, previamente determinada, las velocidades de flujo con las cuales se puede obtener luego el caudal. El lugar elegido para hacer el aforo o medición debe cumplir los siguientes requisitos:

- ✓ La sección transversal debe estar bien definida y que en lo posible no se presente a gradación o degradación del lecho.
- ✓ Debe tener fácil acceso.
- ✓ Debe estar en un sitio recto, para evitar las sobre elevaciones y cambios en la profundidad producidos por curvas.
- ✓ El sitio debe estar libre de efectos de controles aguas abajo, que puedan producir remansos que afecten luego los valores obtenidos con la curva de calibración.

La sección escogida se divide en tramos iguales tal como muestra la figura, en cada vertical, de las varias en que se divide la sección, se miden velocidades con el molinete a 0.2, 0.6 y 0.8 de la profundidad total.

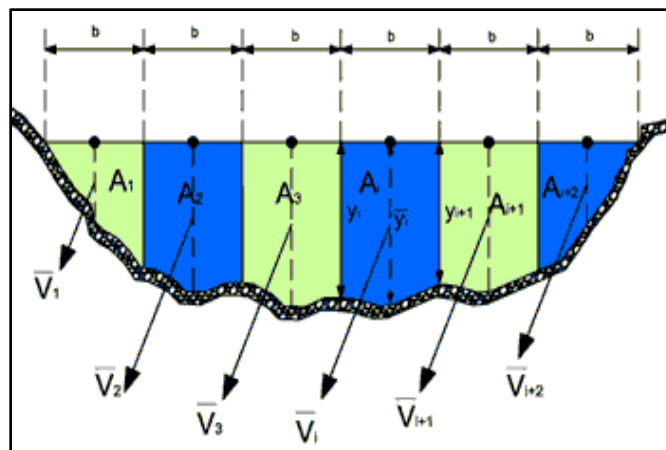


Figura 5-1. Sección transversal en el punto de aforo
Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-2sas.htm>

1.3.1.4 Método del Flotador

El método de aforo por flotadores, es un método de campo, sencillo y rápido para estimar el caudal de agua que pasa en una sección transversal del río. Con este método se calcula las velocidades superficiales de la corriente de un canal o río, utilizando materiales sencillos (flotadores) que se puedan visualizar y cuya recuperación no sea necesaria.

Este método se fundamenta en que los objetos se mueven a la misma velocidad que el agua, en la cual flotan, por consiguiente, medir la velocidad del objeto flotante es medir la de la línea de flujo

en la cual se mueven. Este método no deberá ser empleado cuando se tema que la medida podría ser afectada por el viento.

❖ **Cálculo del tiempo promedio en segundos (t_p)**

Para el cálculo del tiempo que demoran los flotadores de llegar de A hasta B, se requiere del cronómetro, se deben lanzar como mínimo 3 flotadores hacia la margen derecha, 3 en el centro y 3 en la margen izquierda de la sección del río. El número de flotadores que se utilice para el aforo se realice en un tiempo tal que no se produzcan variaciones superiores a 1 cm entre el nivel de agua al inicio y al final del aforo. El tiempo promedio es igual, a la suma del tiempo que se demora cada flotador, y se divide entre el número de los flotadores.

❖ **Cálculo de la velocidad en metros sobre segundo: V (m/s)**

Fórmula de la velocidad superficial del flotador: (Vs)

$$v = \frac{d}{t_p}$$

Dónde:

V: Velocidad es expresada en metros sobre segundos (m/s).

d: Distancia recorrida del flotador desde A hasta B, está expresado en metros (m).

t_p : Tiempo promedio que recorre los flotadores desde A hasta B, está expresado en segundos (s).

❖ **Cálculo de la velocidad media en la vertical: (Vm)**

Este valor es la velocidad corregida del flujo de agua en cada sección y es igual a la velocidad del flotador o superficial (Vs) multiplicada por un coeficiente que existe entre la velocidad media de la sección y la superficial, para los diferentes tipos de cauces.

Según los hidrólogos esta velocidad media suele variar entre 0'75 y 0'90 veces la velocidad en la superficie según se trate de cauces naturales pequeños o grandes, respectivamente. Para fines de esta Guía, la velocidad superficial obtenida se multiplicará por 0.85.

❖ **Cálculo del área de la sección, expresado en metros cuadrados: A (m^2)**

Fórmula del Área: (A)

$$A = h_p \times a$$

Dónde:

A: área de la sección, expresada en metros cuadrados (m^2).

h_p : profundidad promedio (m).

a: ancho del río, expresado en metros (m)

Se requiere medir el ancho del río y calcular la profundidad promedio del río.

Ancho del río: (a): Se mide con una cinta métrica.

❖ **Cálculo de la profundidad media (hp):**

Dividir como mínimo el río en 3 partes, sondear el ancho del río para medir las diferentes profundidades y se obtiene el promedio. El observador puede medir las profundidades desde el carro huero, puente o vadeando el río (periodo de estiaje) y las profundidades puede medirlo por medio de una regla, madera o sogas con lastre.

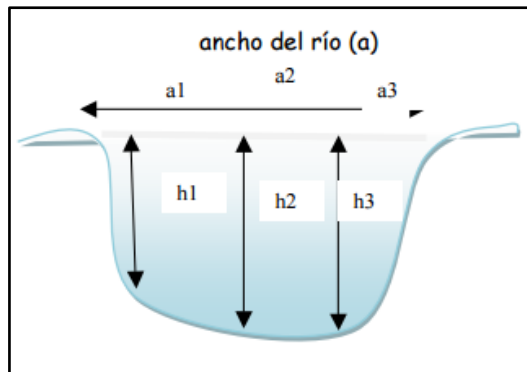


Figura 6-1. Dividir el ancho del río, se mide las profundidades para obtener el promedio.
Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guia/calde/2sas/2-2sas.htm>

$$\text{altura o profundidad promedio (hp)} = \frac{h1 + h2 + h3}{3}$$

Fórmula del caudal: (m³/s)

$$Q = A \times Vm$$

Dónde:

Q: caudal de agua, expresada en metros cúbicos sobre segundos (m³/s).

A: área de la sección, expresada en metros cuadrados (m²)

Vm: velocidad media del agua, expresado en metros sobre segundos (m/s).

1.3.1.5 Método del cubo

Es un método sencillo para medir caudales muy pequeños de menos de 5 l/s con gran precisión.

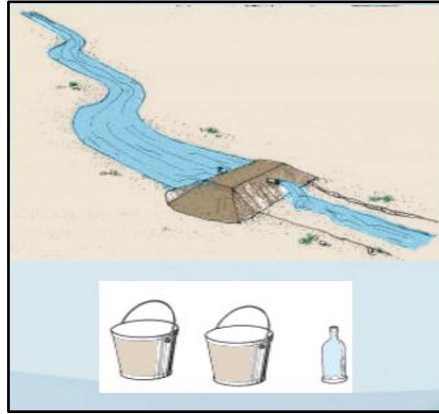


Figura 7-1. Método del cubo

Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-2sas.htm>

Se comienza construyendo una presa pequeña de tierra a través del arroyo para detener el agua. Se pueden emplear postes de madera, bambú o ramas de árboles para retener la tierra en su lugar mientras se construye la presa. Cuando la presa está a medio construir, se pone un tubo de 5 a 7 cm de diámetro y de 1 a 1,5 m de longitud, que puede ser de bambú. Termine de construir la presa a través del arroyo para que toda el agua pase por el tubo.

Busque por lo menos dos cubos u otros recipientes similares que empleará para llenarlos del agua que pasa por el tubo. También necesitará una botella u otro recipiente pequeño de 1 litro.

1.3.1.6 Método volumétrico.

Se emplea por lo general para caudales muy pequeños y se requiere de un recipiente para coleccionar el agua. El caudal resulta de dividir el volumen de agua que se recoge en el recipiente entre el tiempo que transcurre en coleccionar dicho volumen.

❖ Aforo volumétrico



Figura 8-1. Aforo del agua por el método volumétrico

Fuente: [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_\(CAP\[1\].%203\).pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_(CAP[1].%203).pdf)

La medición del caudal se realiza de forma manual utilizando un cronómetro y un recipiente aforado, generalmente un balde. El procedimiento a seguir es tomar un volumen de muestra cualquiera (V) y medir el tiempo transcurrido (t) desde que se introduce a la descarga hasta que se retira de ella; la relación de estos dos valores permite conocer el caudal (Q) en ese instante de tiempo. Este método tiene la ventaja de ser el más sencillo y confiable, siempre y cuando el lugar donde se realice el aforo garantice que al recipiente llegue todo el volumen de agua que sale por la descarga.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dónde:

Q= Caudal l/s

V= Volumen del recipiente en litros.

t= Tiempo promedio en segundos.

Con la finalidad de definir el tiempo promedio, se recomienda realizar como mínimo 5 mediciones.

1.3.1.7 Método de vertedero y canaletas

Aforo con vertedero es otro método de medición de caudal, útil en caudales pequeños.

Se interrumpe el flujo del agua en la canaleta y se produce una depresión del nivel, se mide el tamaño de la lámina de agua y su altura. El agua cae por un vertedero durante cierto tiempo, se mide la altura de la lámina y se calcula la cantidad de agua que se vertió en ese tiempo.

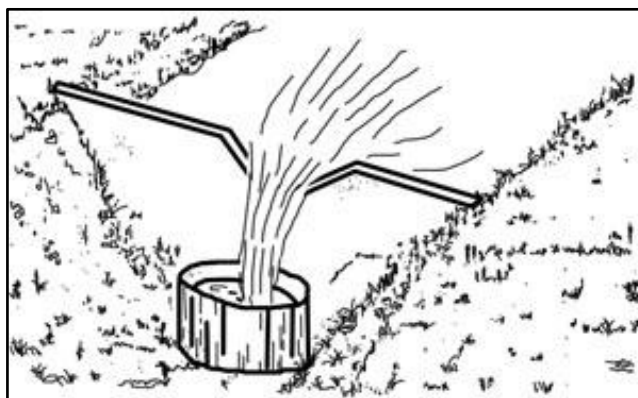


Figura 9-1. Vertedero

Fuente:[http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_\(CAP\[1\].%203\).pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_(CAP[1].%203).pdf)

Se recomiendan mediciones periódicas para conocer las variaciones del flujo

1.3.2 Captación

Una captación de agua subterránea es toda aquella obra destinada a obtener un cierto volumen de agua de una formación acuífera concreta, para satisfacer una determinada demanda.

El sistema de captación utilizado para aguas subterráneas es el bombeo mientras que para aguas superficiales, se utilizan métodos, si hablamos de tomas de embalses ríos o mar. El proceso de producción de agua potable inicia en las fuentes y vertientes de las cuales la empresa obtiene el agua cruda.

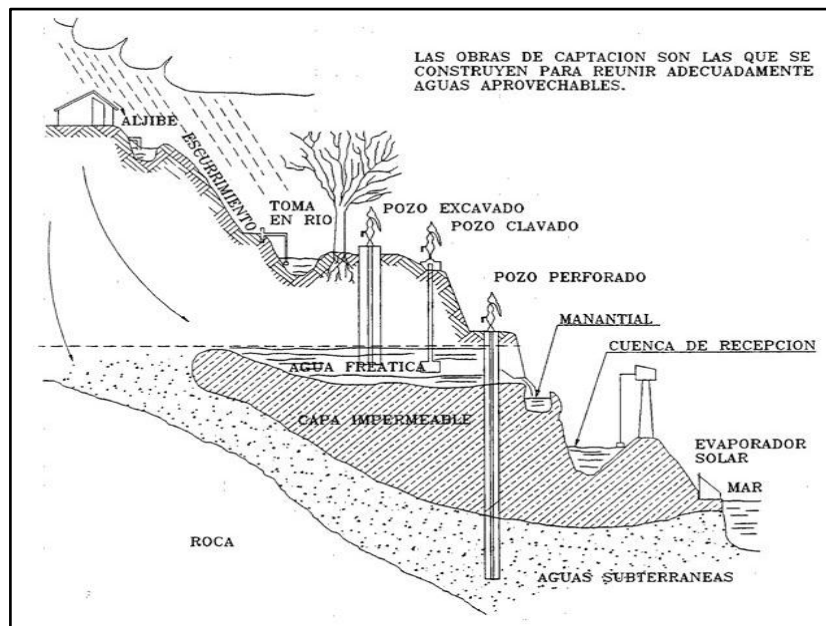


Figura 10-1. Obra de captación

Fuente: <http://civilgeeks.com/2010/10/08/obras-de-captacion-sistema-de-agua-potable/pdf>

1.3.2.1 Vertederos

Un vertedero es un muro o una barrera que se interpone al flujo, causando sobre-elevación del nivel de la lámina aguas arriba y disminución aguas abajo. Las principales funciones de los vertederos son:

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

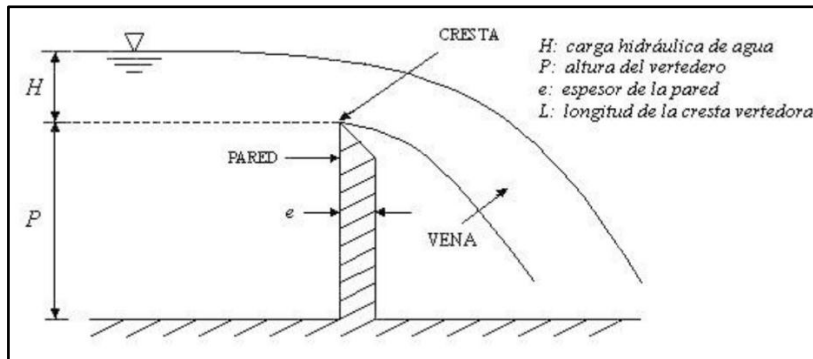


Figura 11-1. Vertedero de Cresta Delgada

Fuente: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf

Los vertederos son estructuras utilizadas frecuentemente para la medición de caudales, las ventajas de este tipo de vertederos radican en su fácil construcción, bajo costo y buen rango de precisión en líquidos que no contengan sólidos. Sin embargo, cuando se instalan en corrientes naturales tienen la desventaja que se colmatan de sedimentos.

Las variables básicas Q y H siguen un modelo matemático dado por la ecuación de patronamiento:

$$Q = KH^m$$

Dónde:

Q= Caudal.

K= constante de calibración.

H=Carga hidráulica con relación a la cresta del vertedero.

m= exponente.

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

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

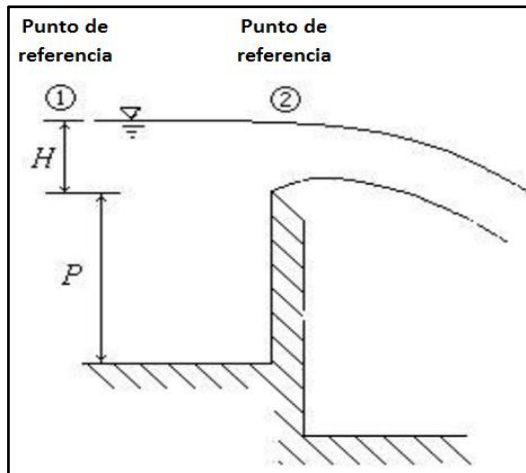


Figura 12-1. Vertedero puntos de referencia
Fuente: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf

1.3.2.1.1 Clasificación de los Vertederos

❖ Según su Forma Geométrica

Los vertederos pueden adoptar distintas formas entre ellos tenemos:

Vertedero Rectangular: Es el más utilizado y puede ser de dos tipos:

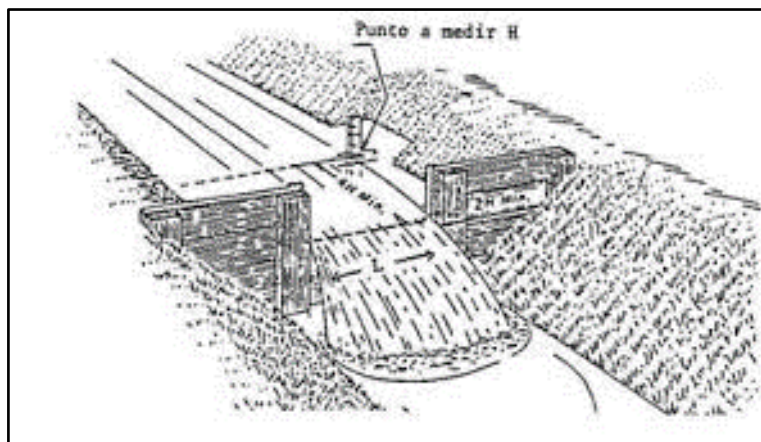


Figura 13-1. Vertedero rectangular.
Fuente: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf

Sin contracción: Tienen el ancho de la cresta igual al ancho del canal, por lo tanto, los lados del canal actúan como los lados del vertedero.

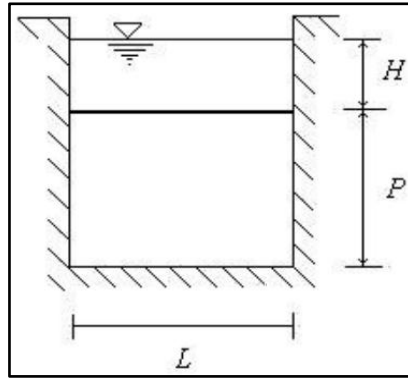


Figura 14-1. Vertedero rectangular de cresta delgada sin contracción.
Fuente: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf

Aplicando la ecuación de energía entre los puntos 1 y 2, se obtiene una expresión para el caudal:

$$Q_T = \frac{2}{3} \sqrt{2g} L \left(H + \frac{v^2}{2g} \right)^{3/2}$$

Dónde:

Q_T = Caudal teórico.

L = Longitud del vertedero.

H = Carga hidráulica sobre la cresta.

v = Velocidad de llegada al vertedero.

g = Aceleración debida a la fuerza de la gravedad.

Esta ecuación no considera las pérdidas por fricción en el tramo, ni los efectos de tensión superficial, por lo tanto, el caudal real es menor que el caudal teórico, por tal razón se introduce un coeficiente que permita incluir estas consideraciones, como se indica en la ecuación a continuación:

$$Q_T = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d L \left(H + \frac{v^2}{2g} \right)^{3/2}$$

C_d = Coeficiente de descarga, cuyos valores característicos deben estar entre 0,55 y 0,65.

Despreciando la influencia de la velocidad de llegada al vertedero, la ecuación se simplifica de la siguiente manera:

$$Q_T = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d L H^{3/2}$$

Con contracción: Tiene una abertura rectangular más pequeña que el ancho del canal, la cual produce con el caudal un chorro angosto y más acelerado que el flujo del canal.

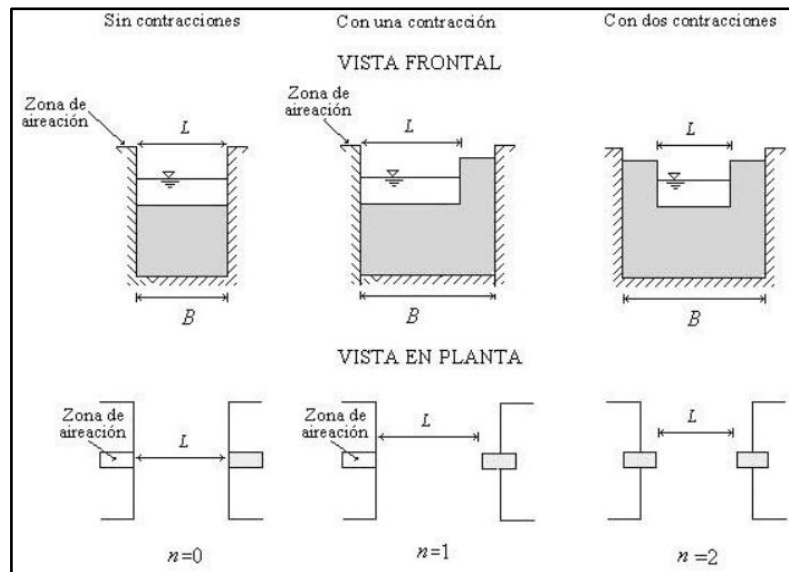


Figura 15-1. Vertedero rectangular con y sin contracciones.
Fuente: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf

Para esta situación, a longitud efectiva del vertedero es L' .

$$Q_T = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d L' H^{3/2}$$

El efecto de la contracción se tiene en cuenta restando a la longitud total de la cresta del vertedero L , el número de contracciones multiplicada por $0.1H$.

$$L' = L - n(0.1H)$$

Dónde:

L' = longitud contraída de la lámina de agua en el vertedero.

L = longitud real del vertedero.

n = número de contracciones laterales

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d (L - 0.1nH) H^{3/2}$$

Para el caso del vertedero sin contracciones laterales ($n = 0$), se requiere de una zona de aireación en los extremos de la estructura que permita el ingreso de aire y así para garantizar que la presión aguas abajo de la estructura sea la atmosférica.

Para el caso del vertedero con contracciones laterales ($n > 0$), se requiere de una zona de aireación en los extremos de la estructura que permita el ingreso de aire y así para garantizar que la presión aguas abajo de la estructura sea la atmosférica.

Vertedero triangular: Consiste en una ranura angular cortada en el centro del vertedero de tal forma que el ápice de la ranura esté a la misma distancia del fondo del canal como los lados del ángulo a la pared del canal. Los ángulos más utilizados son de 90° y 60°. Son los mejores para medir caudales menores de 28 L/s.

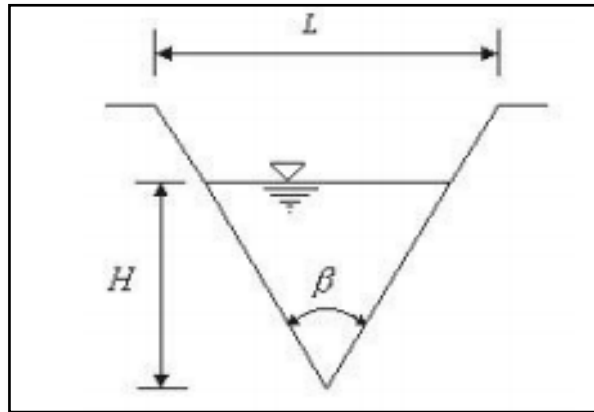


Figura 16-1. Vertedero triangular.

Fuente: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf

Cuando los caudales son pequeños es conveniente aforar usando vertederos en forma de V puesto que para pequeñas variaciones de caudal la variación en la lectura de la carga hidráulica H es más representativa.

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

Si $\beta=90^\circ$ entonces $Q=1.4H^{5/2}$, en sistema M.K.S

Tabla 2-1. Valores característicos de C_d .

Ángulo	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

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf

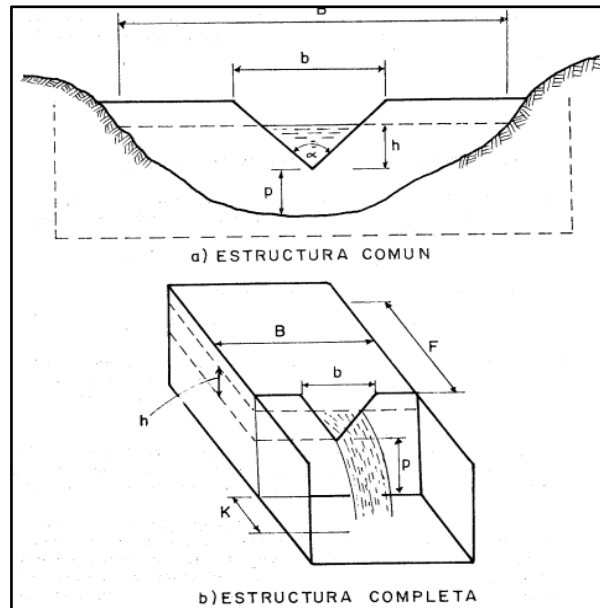


Figura 17-1. Características de los vertederos triangulares de paredes delgadas.
Fuente: http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3956/6/BVCI0003320_20.pdf

Vertedero trapezoidal: Es también llamado vertedero Cipolletti, se caracteriza por su forma trapezoidal siendo las proyecciones de sus paredes 1 horizontal y 4 vertical.

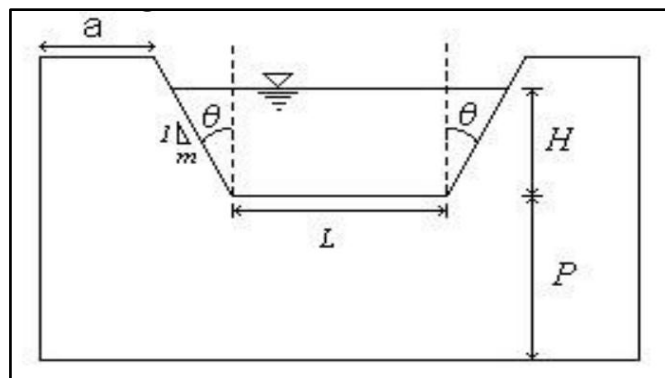


Figura 18-1. Vertederos Trapezoidales
Fuente: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf

Este vertedero ha sido diseñado con el fin de disminuir el efecto de las contracciones que se presentan en un vertedero rectangular contraído.

Vertedero Circular: Se emplean rara vez, ofrecen como ventajas la facilidad de construcción y que no requieren el nivelamiento de la cresta debido a su forma geométrica.

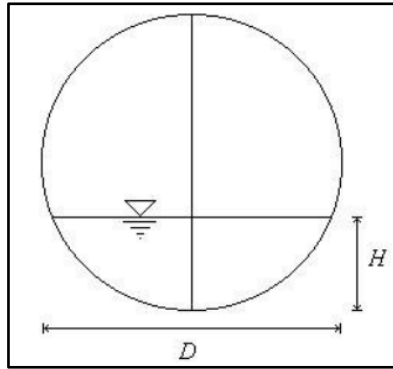


Figura 19-1. Vertedero Circular

Fuente: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf

Para este tipo de vertederos De Azevedo y Acosta en el Manual de Hidráulica presenta la siguiente ecuación en unidades métricas, dando caudales en m³/s.

$$Q = 1.518D^{0.693}H^{1.807}$$

El ángulo central φ , se obtiene de la Tabla 4-1, si no coincide el valor del cociente H/D, con el de la tabla, el ángulo se obtiene por medio de interpolación.

Tabla 3-1. Valores del ángulo central φ

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

$$Q_{entrada\ 2} = \varphi \left[0.555 + \frac{D}{110H} + 0.041 \frac{H}{D} \right] D^{5/2}$$

Dónde:

H = Altura con respecto al agua (m).

D = Diámetro (m).

φ = Se obtiene de la tabla 4-1

❖ Según el Ancho de la Cresta

Vertederos de Cresta delgada: Este tipo de vertedero es el más usado, especialmente como aforador, por ser una estructura de fácil construcción e instalación. Debidamente calibrados o patronados se obtienen ecuaciones o curvas en las cuales el caudal es función de la carga hidráulica H .

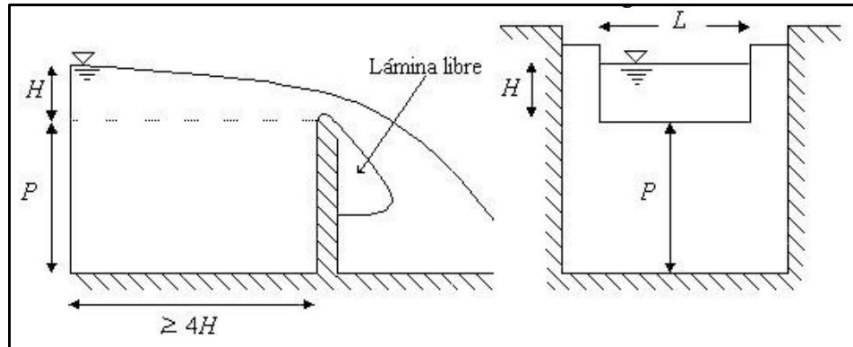


Figura 20-1. Vertedero Rectangular de pared delgada con contracciones.
Fuente: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf

Vertederos de Cresta Ancha: Los vertederos de cresta ancha tienen menor capacidad de descarga para igual carga de agua que los vertederos de cresta delgada y su uso más frecuente es como estructuras de control de nivel.

La mínima distancia a la cual se debe instalar los medidores de la carga hidráulica (H) para que no esté afectada por la declinación de la lámina de agua es $3.5H$, como se observa en la figura:

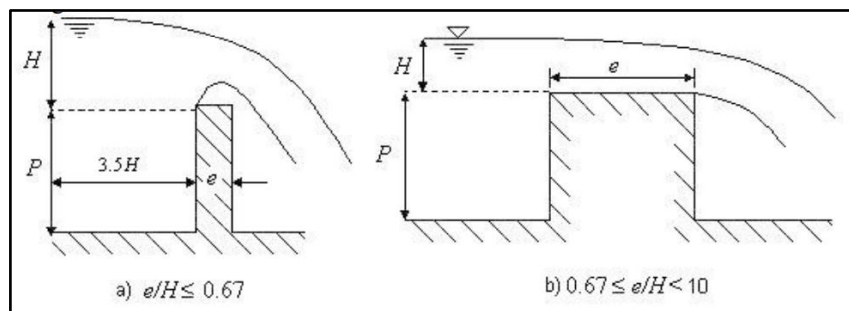


Figura 21-1. Vertedero Rectangular. a) cresta delgada, b) cresta gruesa.
Fuente: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf

1.3.2.2 Medio de Transporte del Agua.

Dentro de un sistema de abastecimiento de agua potable se llama línea de conducción, al conjunto integrado por tuberías, estaciones de bombeo y dispositivos de control, que permiten el transporte del agua desde una sola fuente de abastecimiento, hasta un solo sitio donde será distribuida en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión.



Figura 22-1.Medios de conducción del agua.

Fuente:http://www.aguasyaguas.com.co/calidad_agua//12-captacion-y-aduccion-del-agua

Entre la captación y la planta de potabilización del agua, como entre esta y la red de distribución urbana, suele darse la necesidad de conducir ya sea el agua cruda o el agua tratada, o ambas, para salvar distancias y obstáculos naturales entre la fuente de suministro y los consumidores. El trazado y el tipo de conducción, en sus efectos sobre los suelos y la propiedad, son factores ambientales que deben ser convenientemente valorados.

Aducción: Es la conducción o transporte de agua desde la cuenca hasta la planta de tratamiento, tanque de regulación, o directamente a la red, ya sea por tubería, canal o túnel.

Entre las formas más conocidas de conducir el agua tenemos:

1. Conducción por bombeo

La conducción por bombeo es necesaria cuando se requiere adicionar energía para obtener la carga dinámica asociada con el gasto de diseño. Este diseño se usa generalmente cuando la elevación del agua en la fuente de abastecimiento es menor a la altura piezométrica requerida en el punto de entrega. El equipo de bombeo proporciona la energía necesaria para lograr transportar el agua.

2. Conducción por gravedad

Una conducción por gravedad se presenta cuando la elevación del agua en la fuente de abastecimiento es mayor a la altura piezométrica requerida o existente en el punto de entrega del agua, el transporte del fluido se logra por la diferencia de energías disponibles.

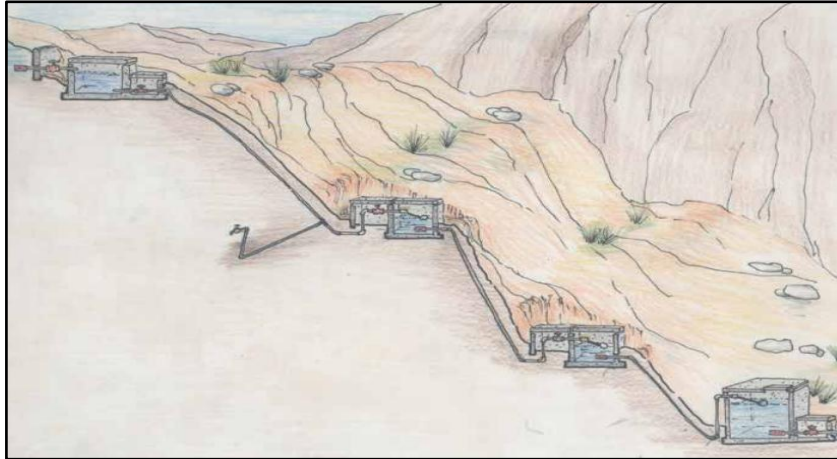


Figura 23-1. Conducción de agua

Fuente:http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_ipafnoa_manual_sist_conduc_agua_regin_altoandi.pdf

3. Conducción por bombeo-gravedad

Se realiza una combinación de conducción de bombeo –gravedad cuando el tipo de terreno obliga a cruzar por partes más altas que la elevación de la superficie del agua, donde la primera parte será conducida por bombeo y la segunda por gravedad.

1.3.2.3 AIREACIÓN

La aireación es un método para purificar el agua. Mediante un proceso por el cual se lleva el agua a un contacto íntimo con el aire o mediante el arrastre o barrido de sustancias volátiles causado por la mezcla turbulenta del agua con aire y por el proceso de oxidación de los metales y gases.

Las funciones más importantes del proceso de aireación son:

- ✓ Aumentar el contenido de oxígeno.
- ✓ Reducir el contenido de CO₂.
- ✓ Oxidar hierro y manganeso.
- ✓ La remoción del metano, sulfuro de hidrogeno y otros compuestos orgánicos volátiles responsables de conferirle al agua olor y sabor.

1.3.2.3.1 Tipos de Aireación

Aireadores de cascada

Son aireadores en los que la altura adecuada se subdivide en varias caídas para aumentar la cantidad de oxígeno al agua que atraviese por este tipo de estructura o por el contrario reducir el contenido de gases no deseables, los bordes de los peldaños actúan como agujeros los mismos que producen una lámina de agua que beneficia la exposición con el aire.

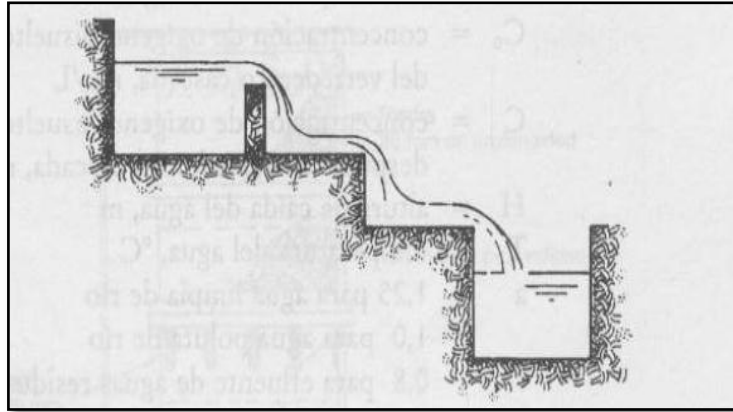


Figura 24-1. Aireación.
Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua.

Aireadores de bandejas

Consisten en una serie de bandejas con hendiduras o perforaciones o con un fondo de malla de alambre sobre las cuales se distribuye el agua para que caiga en un estanque de recolección.

Algunos aireadores de este tipo están dotados de un lecho grueso de trozos de carbón o bolas de cerámica, cuyo espesor varía de 5 a 15 centímetros y que se coloca en las bandejas para lograr mayor eficacia y producir mayor turbulencia. Los lechos gruesos son eficaces, especialmente cuando se utilizan como auxiliares catalizadores de las reacciones de oxidación de hierro y el manganeso (pirolusita).

Pertenecen a un sistema de bandejas con perforaciones en su parte inferior ubicadas en forma continua con intervalos de 0.300 a 0.750 m. La entrada de agua es por la parte superior, a través de una tubería perforada debiendo caer a la primera bandeja y así continuamente. Los orificios con diámetros de 0.005 a 0.001 m con separación de 0.025 m.

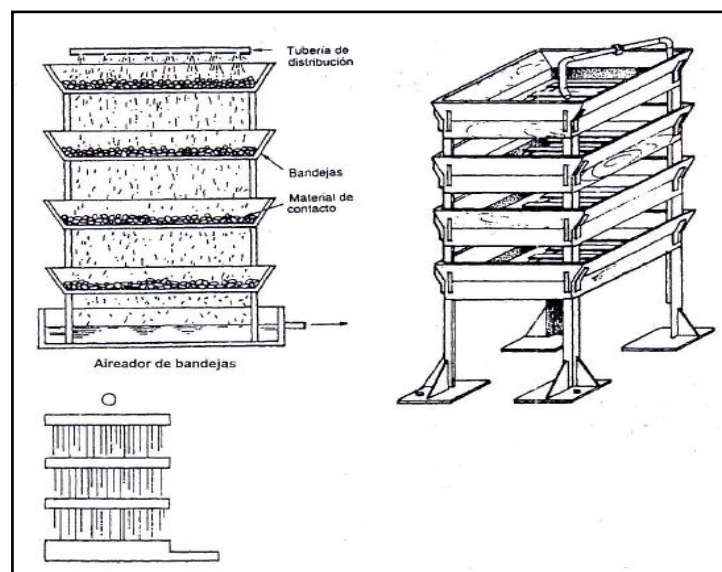


Figura 25-1. Aireador de bandejas.
Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua.

1.3.2.4 Aireador de bandejas.

Corresponden a un sistema de bandejas con perforaciones en su parte inferior, colocadas en forma sucesiva con intervalos de 30 a 75 cm. El ingreso del agua es por la parte superior y debe distribuirse a través de una tubería perforada, debiendo caer a la primera bandeja y así sucesivamente. Los orificios practicados en cada bandeja serán circulares con diámetros de 5 – 12 mm con una separación de 2.5 cm entre ellos. El número de bandejas debe ser de 3-5, 4-6, > 3 y la altura total del aireador de 1.2-3 m.

1.3.2.5 Criterios para el diseño de un Aireador de bandejas

Tabla 4-1. Criterios para el Diseño de Aireadores de Bandejas

Criterio	Número bandejas N	Separación bandejas, h (m)	Lecho de contacto		Perforaciones		CH (m ³ /m ² d)
			Altura (m)	Φ (cm)	Φ (pulg)	Separ. (cm)	
Asce-Awwa-CSSE	3-9	0,30-0,75					550-1.800
Insfopal-	3-5	0,30-0,75	0,20-0,30	5-15	3/16 ³ -1/4 ³	2,5	300-900
AwwaAzevedoNett	4	0,40-0,60					300-900
o RAS 2000	3-5	0,30-0,75	0,15-0,30	5-15			<100
Otros	>3	<0,30	0,15-0,30	4-15	3/16 ³ -1/2 ³	2,5-7,5	

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: http://Contenido_en_linea_Diseño_de_Plantas_Potabilizadoras/leccin_24_aireadores_o_surtidores.html

Para el diseño se requiere:

- ✓ Establecer el tiempo de contacto
- ✓ Determinar la altura de cada escalón y el número de plataformas o escalones
- ✓ Establecer, a partir de una carga hidráulica escogida, el área superficial y las dimensiones de las plataformas o escalones.
- ✓ Determinar la altura total del aireador.

1.3.2.5.1 Determinación del número de torres

Para la determinación del número de torres se realiza mediante la ecuación:

$$N_T = \frac{Q_D}{Q_T} \text{Ec. 1-1}$$

Dónde:

N_T = Numero de torres

Q_D =caudal de diseño L/s

Q_T =Caudal que ingresa a cada torre L/s

1.3.2.5.2 *Tiempo de exposición*

Mediante la siguiente ecuación se determinará el tiempo de exposición del agua en cada una de las bandejas:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot H \cdot n}{g}} \text{ Ec. 2-1}$$

Dónde:

t: Tiempo de exposición (s)

H: altura total de las torres (m)

n: número de bandejas

g: Gravedad (m/s^2)

1.3.2.6 *MEZCLA RÁPIDA*

En plantas de purificación de agua el mezclador rápido es una operación que tiene el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua.

La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como resaltos hidráulicos en canales, canaletas Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipos de mezcla rápida.

- ❖ *Mezcladores rápidos mecánicos:* Los mezcladores mecánicos consisten en tanques de sección circular o cuadrada con hélices, paletas, turbinas u otros elementos similares acoplados a un eje de rotación impulsado por una fuerza motriz cualquiera.

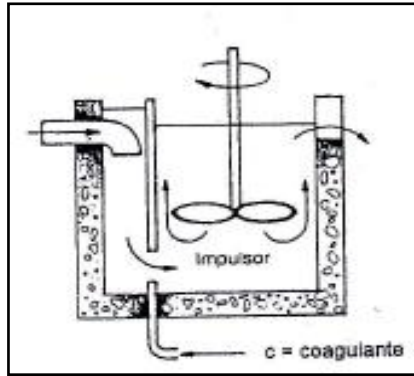


Figura 26-1. Mezcla rápida
 Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua.

- ❖ *Mezcladores rápidos hidráulicos:* Los mezcladores hidráulicos se utilizan cuando se dispone de suficiente cabeza o energía en el flujo de entrada. En general se usan resaltos hidráulicos, canaletas Parshall, dispersoras de tubos perforados y tanques con baffles, para disipar energía en turbulencia y aprovecharla para la mezcla del coagulante.

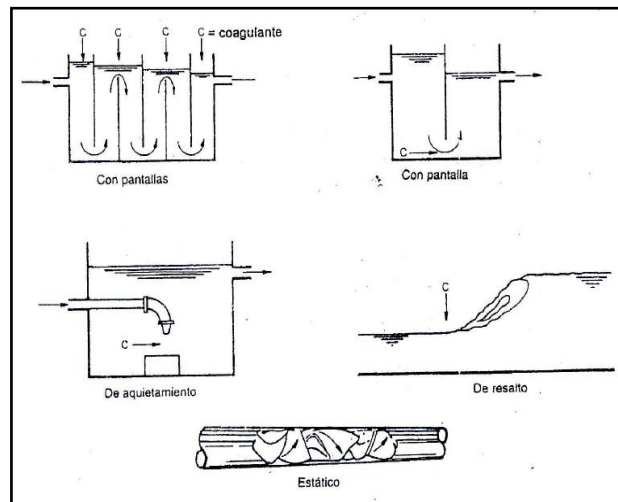


Figura 27-1. Mezcladores Hidráulicos
 Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua.

POLICLORURO DE ALUMINIO.



Figura 28-1. Policloruro de Aluminio
 Fuente: syquem.com/poli.html

Es un polímero coagulante – floculante diversamente utilizado en tratamiento de aguas sean éstas potables, residuales e industriales.

El mismo tiene un alto porcentaje de Al_2O_3 siendo su mínima concentración del 31%, muy buena en aguas con alto contenido de minerales entre los principales el hierro, aguas duras o con exceso de color.

Descripción general.

Este producto es un polímero inorgánico en polvo, con las siguientes características:

- ✓ Apariencia: polvo
- ✓ Color: amarillento
- ✓ Olor: penetrante
- ✓ pH: 3.5 - 5.0
- ✓ Carácter: iónico- catiónico
- ✓ % Al_2O_3 : 31%
- ✓ Solubilidad en el agua: 99.9 %

Aplicaciones.

- ✓ Se utiliza como coagulante en tratamientos primarios de sistemas de potabilización, tratamientos de agua residual, industria metal-mecánica, entre muchos.
- ✓ Contribuye a la remoción de sólidos suspendidos, color, turbidez y algunos otros contaminantes tales como partículas orgánicas.
- ✓ Desestabiliza los microorganismos y las partículas coloidales, formando coágulos estos se aglomeran debido al peso precipitan.
- ✓ En la industria papelera, tiene el potencial de incrementar la eficiencia de los procesos de encolado, retención y drenado.
- ✓ En la clarificación de todos los efluentes industriales.

Beneficios

- ✓ Efectivo a bajas concentraciones.
- ✓ Doble función de coagulante/ floculante.
- ✓ Puede ser diluido a cualquier concentración.

Presentación

El polímero se despacha en sacos de 25 kg. Para el manejo del producto es necesario el uso de guantes y gafas de seguridad.

En caso de contacto con los ojos es necesario lavarse con abundante agua y jabón. Si se presenta irritación se debe acudir de inmediato a un médico.

1.3.2.7 COAGULACIÓN

La coagulación es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado.

La coagulación es el tratamiento más eficaz pero también es el que representa un gasto elevado cuando no está bien realizado. Es igualmente el método universal porque elimina una gran cantidad de sustancias de diversas naturalezas y de peso de materia que son eliminados al menor costo, en comparación con otros métodos.

La coagulación está esencialmente en función de las características del agua y de las partículas presentes, las mismas que definen el valor de los parámetros conocidos como pH, alcalinidad, color verdadero, turbiedad, temperatura, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión, etc.



Figura 29-1. Coagulación

Fuente:http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/tema5.pdf

1.3.2.7.1 Sustancias químicas empleadas en la coagulación

A la variedad de productos químicos empleados en la coagulación se los clasifica como coagulantes, modificadores de pH y ayudantes de coagulación.

Clases de Coagulantes

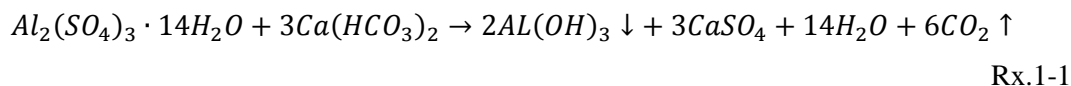
Los coagulantes más utilizados en la práctica para el agua potable son los siguientes:

a. Sales de Aluminio

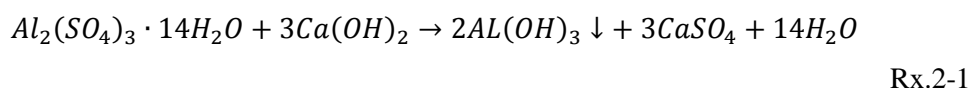
Forman un floculo ligeramente pesado, las más conocidas son: el Sulfato de Aluminio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, que en la práctica se le denomina como Alumbre; el Sulfato de Aluminio Amoniacal y el Aluminato Sódico. El primero es el que se usa con mayor frecuencia dado su bajo costo y manejo relativamente sencillo.

❖ *Sulfato de aluminio o alumbre:* Es una sal ácida de aluminio que actúa como coagulante, dependiendo de su concentración y el pH del agua. El alumbre funciona mejor en el intervalo de pH de 5,5 – 7,0, puesto que esta sal produce protones en el proceso de hidrólisis, si el agua no tiene una alcalinidad adecuada será necesario añadir un producto alcalino para mantener el pH.

✓ *Con la alcalinidad:*



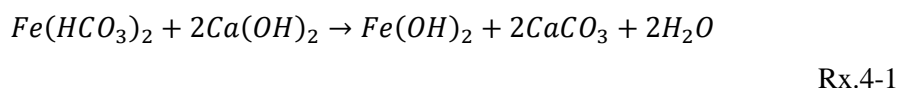
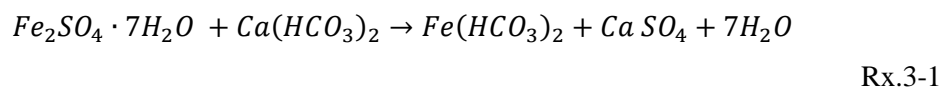
✓ *Al añadir cal:*



El alumbre genera lodos muy voluminosos, lo que produce desechos de lodos y limpieza de clarificadores, aumenta el contenido de sólidos disueltos, aumentando la carga de los suavizadores, cuando éstos son utilizados para completar el tratamiento del agua, y el flóculo por sales metálicas es muy frágil y quebradizo, una vez que se rompe no vuelve a formarse.

b. Sales de Hierro: Se utiliza el Cloruro Férrico, $FeCl_3$, y los Sulfatos de Hierro Férrico y Ferroso. Forman un floculo más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio.

❖ Sulfato Ferroso y Cal: Se suministran en forma sólida y para que sea realmente eficaz, el sulfato ferroso debe oxidarse a sulfato férrico.



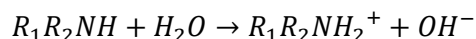
c. Polímeros o polielectrolitos: Son compuestos complejos de alto peso molecular que se utilizan no propiamente como coagulantes sino como ayudantes de coagulación. La dosificación de estas sustancias se lleva a cabo en concentraciones muy bajas, lo cual es una gran ventaja y compensa el costo del polímero.

Están siendo ampliamente empleados en el tratamiento de aguas potables ya que se produce una menor cantidad de lodos, adicionalmente el lodo producido es más fácilmente tratable.

Los polielectrolitos pueden clasificarse en:

- ❖ Catiónicos: Cargados positivamente.
- ❖ Aniónicas: Cargados negativamente.
- ❖ No iónicos: No son polielectrolitos en sentido estricto, aunque exhiben en disolución muchas de las propiedades floculantes de los anteriores.

Los polielectrolitos catiónicos son poliaminas que se hidrolizan en agua como sigue:



Rx.5-1

Puesto que la hidrólisis da OH⁻, a pH alto se fuerza la reacción a la izquierda y el polímero se vuelve no iónico. De forma semejante, los polímeros aniónicos incorporan a su estructura un grupo carboxilo que en agua se ioniza del siguiente modo:



Rx.6-1

Un pH bajo fuerza la reacción a la izquierda y transforma el polímero aniónico en no iónico. Según esto, generalmente se usan los polímeros catiónicos a bajos pHs y los aniónicos a altos pHs. Esto no significa que en caso contrario dejen de funcionar, lo que ocurre es que se transforman en no iónicos, lo que hará variar en cierto modo su efectividad en el tratamiento concreto a que se aplican.

1.3.2.7.2 *Modificadores de pH*

Como se ha visto, para lograr mejores resultados en el tratamiento, en algunos casos será necesaria regular la alcalinidad del agua o modificar su pH; para ello se emplean:

- a. Hidróxido de calcio, Ca (OH)₂
- b. Carbonato de sodio, Na₂CO₃
- c. Bicarbonato sódico, NaHCO₃

1.3.2.7.3 *Ayudantes de coagulación*

Son polímeros aniónicos, catiónicos o neutros, los cuales pueden presentar forma sólida (polvo) o líquida. Son sustancias de un alto peso molecular, de origen natural o sintético. Requieren ensayos de coagulación y floculación antes de su elección.

Los polímeros sólidos son generalmente poliacrilamida o poliacrilamida hidrolizada y son no iónicos. Los líquidos son generalmente soluciones catiónicas, que contienen de 10 a 60% de polímero activo.

La coagulación se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y hierro. Este proceso es resultado de dos fenómenos:

- ✓ Fenómeno químico.
- ✓ Fenómeno físico.

1.3.2.7.4 Etapas de la coagulación

- ✓ Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de partículas en suspensión.
- ✓ Formación de compuestos químicos poliméricos.
- ✓ Adsorción de cadenas poliméricas por los coloides.
- ✓ Adsorción mutua de coloides.
- ✓ Acción de barrido.

Se puede suponer que las diferentes etapas de la reacción pueden resultar controlables en un cierto porcentaje, bajo diversas condiciones químicas.

1.3.2.8 FLOCULACIÓN

El objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia.

Se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas, es decir, una vez estabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas, sin romper o disturbar los agregados preformados.

En la floculación, una vez introducido y mezclado el floculante, las partículas diminutas coaguladas son puestas en contacto una con otra y con las demás partículas presentes mediante agitación lenta prolongada, floculación, durante la cual las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad.

El floculador es, por lo tanto, un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención relativamente prolongado.

Existen dos tipos de floculación para promover el crecimiento de los flóculos, se detallan a continuación:

- 1) **Floculación Peri cinética:** Se basa en las colisiones debidas al movimiento de las moléculas e inducidas por la energía térmica. A este movimiento se denomina “Movimiento Browniano”.
 - 2) **Floculación Ortocinética:** Se basa en las colisiones de las partículas debidas al movimiento del agua. Este movimiento es inducido por una energía exterior a la masa de agua y que puede ser de origen mecánico o hidráulico.
- ❖ *Floculadores hidráulicos:* Los más comunes son los de flujo horizontal y los de flujo vertical. Los floculadores hidráulicos con una velocidad de flujo apropiada y un número adecuado de baffles que son paredes o muros que se instalan en un tanque de floculación, coagulación o sedimentación para dirigir el sentido del flujo, evitando la formación de cortocircuitos hidráulicos y espacios muertos y así asegurar suficientes curvas, promoviendo una floculación efectiva.

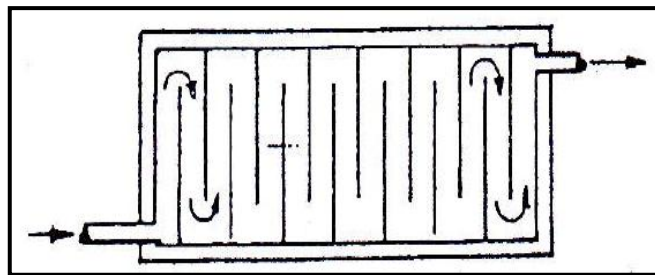


Figura 30-1.Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal
Fuente:ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Floculación.

- ❖ *Floculadores mecánicos:* En estos floculadores, se introduce potencia al agua para asegurar una mezcla lenta mediante agitadores mecánicos. El tipo de agitador mecánico más utilizado es el de paletas, ya sean de eje horizontal o vertical, las cuales imparten movimiento rotatorio al agua así como cierta turbulencia interna.

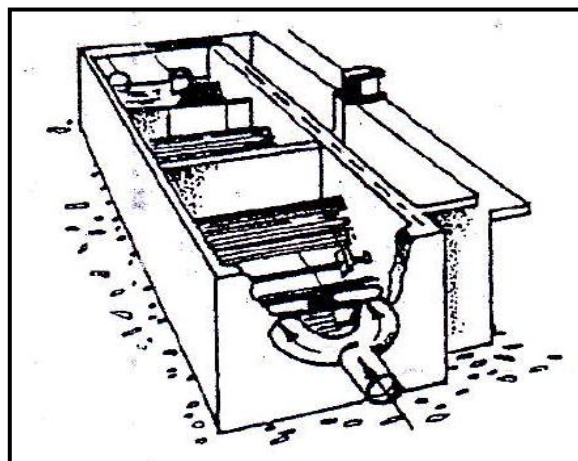


Figura 31-1.Floculador Mecánico de Paletas

1.3.2.8.1 Factores que influyen en la Floculación

Los principales factores que influyen en la eficiencia de este proceso son:

- ✓ Naturaleza del agua.
- ✓ Variaciones de caudal.
- ✓ Intensidad de agitación.
- ✓ Tiempo de floculación.

Una vez floculada el agua, el problema radica en separar los sólidos del líquido, o sea, las partículas coaguladas, del medio en el cual están suspendidas. Esto se puede conseguir dejando sedimentar el agua o filtrándola, o realizando los procesos consecutivamente. La sedimentación y la filtración, son considerados procesos complementarios.

1.3.2.9 SEDIMENTACIÓN

La sedimentación es el proceso mediante el cual se eliminan o se separan las partículas suspendidas más pesadas que el agua. Cuando las impurezas son separadas del agua por la acción de la gravedad y sin la ayuda de agentes químicos, la operación se denomina sedimentación simple.

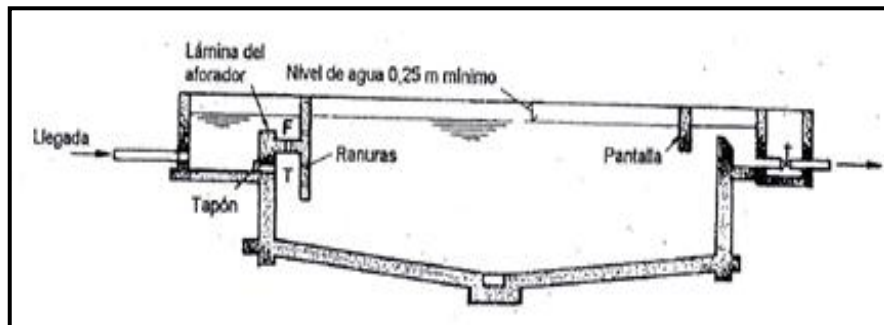


Figura 32-1. Sedimentador Simple

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Floculación

En cuanto si se utilizan agentes químicos para eliminar impurezas en solución, la operación se denomina precipitación química. En el tratamiento del agua se aplica en la eliminación de impurezas floculadas, tales como el color y la turbidez. Así como en la eliminación de impurezas precipitadas, tales como la dureza, el fierro y el manganeso.

La sedimentación se realiza en decantadores. En ellos se produce la decantación del floculo, que precipitan al fondo del decantador formando lodos. Normalmente la retención de velocidad del agua que se produce en esta zona es de 40 minutos a una hora.

Un sedimentador consta de las siguientes partes que se pueden observar en la figura:

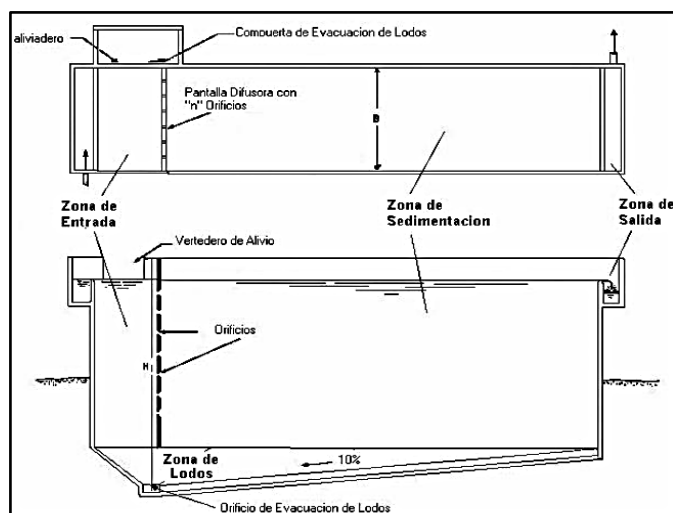


Figura 33-1. Planta y alzado de un sedimentador convencional.
Fuente: CEPIS-UNATSABAR, 2005.

- a. **Zona de entrada:** Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.
- b. **Zona de sedimentación:** Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón.
- c. **Zona de salida:** Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.
- d. **Zona de recolección de lodos:** Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.

1.3.2.9.1 Clasificación de los procesos de sedimentación

Según el tipo y concentración de sólidos o partículas en suspensión, los procesos de sedimentación se pueden clasificar en:

Tabla 5-1. Tipos de Sedimentación.

TIPO DE SEDIMENTACIÓN	CARACTERÍSTICAS DE LOS SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	EJEMPLOS
1. Sedimentación de partículas discretas	Partículas discretas y aisladas en soluciones diluidas.	No hay interacción entre las partículas y entre las partículas y el resto de fluidos.	Movimiento de sedimentación de partículas en desarenadores o presedimentadores.
2. Sedimentación Floculenta	Partículas aglomerables en soluciones relativamente diluidas.	Las partículas se aglomeran agrupándose en partículas de mayor tamaño.	Sedimentación de flocs en decantadores horizontales o de placas.

3. Sedimentación retardada	Soluciones de concentración intermedia.	Las partículas interfieren entre sí, en su descenso manteniendo posiciones estables.	Deposición de lodos en decantadores de flujo ascendente.
4. Sedimentación compresión	Soluciones de alta concentración.	Se forma una estructura entre las partículas que va modificándose lentamente con el tiempo.	Compactación de depósito de lodos.

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: Arboleda Valencia, 2000

1.3.2.9.2 Tipos de Sedimentadores

- ❖ Sedimentación tipo 1: Se refiere a la remoción de partículas discretas no floculentas en una suspensión diluida.
- ❖ Sedimentación tipo 2: Se refiere a la sedimentación de suspensiones diluidas de partículas floculentas, en las cuales es necesario considerar las propiedades floculentas de la suspensión junto con las características de asentamiento de las partículas.
- ❖ Sedimentación zonal: Describe la sedimentación másica y se refiere al proceso de sedimentación de suspensiones de concentración intermedia de material floculento, en las cuales se presenta un asentamiento interferido a causa de la cercanía entre partículas.

La sedimentación o la decantación se realizan en reactores denominados sedimentadores o decantadores, de acuerdo con el tipo de partícula y el sentido de flujo que se remueva en cada unidad. La clasificación más recomendable se muestra a continuación:

Tabla 6-1. Clasificación de los procesos de sedimentación según el sentido del flujo.

SENTIDO DEL FLUJO	TIPO DE SEDIMENTACIÓN	EJEMPLO	TASA DE FLUJO $m^3/m^2/d$
Horizontal	1 y 2	Desarenadores	200 – 420
Vertical	2 y 3	Manto de lodos	15 – 30 45 – 60
Inclinado (ascendente o descendente)	1 y 2	Decantadores con placas.	120 – 180

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: Arboleda Valencia, 2000

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

1.4 FILTRACIÓN

Es el proceso donde se separan fases de un sistema heterogéneo. Se pasa una mezcla a través de un medio poroso o filtro, el cual retiene la mayor parte de los componentes sólidos de dicha mezcla.

También se define como la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso.

Así, la filtración es la fase final u operación terminal para clarificar el agua, que se hace en una planta de tratamiento de agua. Ahí es donde se debe lograr la producción de agua de calidad.

El medio filtrante más utilizado es la arena, sobre un lecho de grava como soporte, aunque también existen otros lechos como membranas filtrantes de otros materiales. El paso del agua por el lecho de arena permite retener los sólidos de tamaño superior a los intersticios entre los granos de arena, además se producen efectos superficiales (adsorción) que permiten retener partículas más pequeñas.

La filtración a utilizar va ser la filtración rápida en arena ya que es el adecuado después haber realizado la floculación y la sedimentación.

Es la remoción de sólidos suspendidos y coloidales presentes en una suspensión acuosa a través de un medio poroso. En general, la filtración es la operación final, que se realiza en una planta de tratamiento de agua y por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente de los patrones de potabilidad.

❖ Mecanismos de Filtración

La filtración usualmente es considerada como el resultado de dos mecanismos distintos pero complementarios: transporte y adherencia.

Inicialmente, las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante.

✓ *Los mecanismos que pueden realizar transporte son los siguientes:*

- a) Cernido
- b) Sedimentación
- c) Intercepción
- d) Difusión
- e) Impacto inercial
- f) Acción hidrodinámica
- g) Mecanismos de transporte combinados.

✓ *Los mecanismos de adherencia son los siguientes:*

- a) Fuerzas de Van der Waals

b) Fuerzas electroquímicas

c) Puente químico

Se han planteado debates sobre cuál de estos mecanismos es el que controla el proceso de filtración. Es indudable que no todos necesariamente tienen que actuar al mismo tiempo y que, en algunos casos, la contribución de uno o varios de ellos para retener el material suspendido es quizás mínimo.

Pero hay que tener en cuenta que dada la complejidad del fenómeno, más de un mecanismo deberá entrar en acción para transportar los diferentes tamaños de partículas hasta la superficie de los granos del medio filtrante y adherirlas.

1.5 DESINFECCIÓN

La desinfección es una operación de importancia incuestionable para el suministro de agua potable. La desinfección constituye una barrera eficaz para numerosos patógenos (especialmente las bacterias) durante el tratamiento del agua de bebida, se debe utilizar en aguas superficiales y en aguas subterráneas expuestas a la contaminación fecal.

Este proceso es necesario porque no es posible asegurar la remoción total de los microorganismos por los procesos físico-químicos, que usualmente se utiliza en el tratamiento del agua. El agente de desinfección más empleado es el cloro, debido a su fácil disponibilidad en forma de gas, líquido o sólido, es capaz de destruir la mayoría de microorganismos patógenos.

Por otro lado, las aguas suministradas por una planta de tratamiento de agua para consumo humano pueden sufrir de nuevo contaminación en los tanques de almacenamiento o en las redes de distribución antes de ser distribuidas a la población. La desinfección debe protegerlas también de estas situaciones de riesgo posteriores al tratamiento.

Se pueden mencionar tres tipos básicos de desinfección:

Tratamientos físicos: El objetivo de este tratamiento es la eliminación de coloides y de sólidos en suspensión. Esto se consigue con tratamientos ya realizados como son: la coagulación – floculación, la decantación y la filtración.

Tratamientos químicos: Los agentes químicos desinfectantes más utilizados son el cloro, el dióxido de cloro y el ozono.

- ❖ **Cloro:** Es el agente desinfectante más usado, ya sea en su forma gaseosa o como hipoclorito. La aceptación del cloro es debida a tres factores principales:
 - Oxidación de sustancias inorgánicas como hierro, nitritos, manganeso que causan mal sabor, corrosión y deterioro en las plantas potabilizadoras.

- Acción microbicida del cloro como algicida, bactericida y, en menor medida, virucida.
- Mejora conseguida en los procesos de coagulación y floculación, ya que favorece la formación de flóculos.

- ❖ *Química acuosa de cloro:* Se puede aplicar en una planta de tratamiento por dos métodos: aplicación directa a través de difusores y saturación de una pequeña parte del caudal de agua con cloro y posterior mezcla de esta parte con el caudal principal.

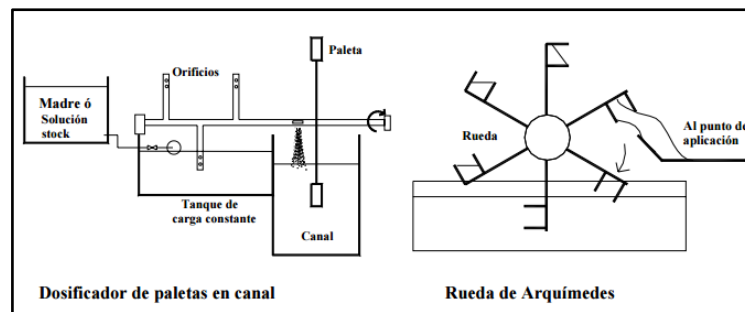


Figura 34-1. Dosificadores de cloro

Fuente: [http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_\(CAP\[1\].%203\).pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_(CAP[1].%203).pdf)

- ❖ *Dióxido de cloro:* Es un gas inestable, que se obtiene a partir de la mezcla de cloro con clorito sódico. Presenta un carácter bactericida y virucida que no se ve afectado por incrementos de pH, ya que incluso aumenta su potencialidad frente a amebas y enterovirus.

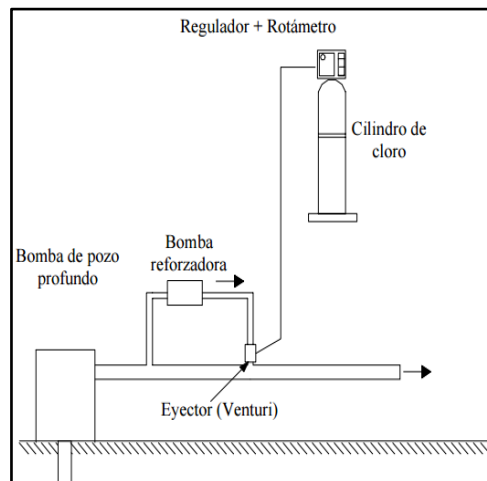


Figura 35-1. Equipo de cloro gas al vacío

Fuente: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/libro.pdf>

- ❖ *Ozono:* Constituye la tercera alternativa tras el cloro y el dióxido de cloro. Se trata de un gas compuesto por tres átomos de oxígeno, que no se encuentra habitualmente en la atmósfera a bajas alturas, donde su presencia se considera contaminante, puesto que su poder oxidante puede afectar a la salud pública o a la vegetación. Tiene un gran poder desinfectante y mejora

las características organolépticas del agua como color, olor y sabor, ya que reacciona tanto con sustancias inorgánicas, eliminado hierro y manganeso que transforma en óxidos o hidróxidos insolubles, como la materia orgánica y produce una reducción importante de la absorbancia de la muestra y, por tanto, de su turbidez.

- ❖ *Radiación:* Hay varias formas de radiación que pueden desempeñar un papel desinfectante. Las radiaciones más útiles son la radiación UV, los rayos X y los rayos γ .
- ❖ *Desinfección Solar:* El proceso de desinfección solar es un proceso térmico que consiste en elevar la temperatura del agua por un espacio suficiente de tiempo en contenedores acondicionados para lograr la absorción del calor proveniente de la radiación solar. Estos contenedores pueden ser de diversos materiales conductores del calor; en todos los casos se busca que sean de color negro ya que absorben mejor el calor en oposición a los colores claros, aumentando aceleradamente la temperatura del agua y la conservación del calor por más tiempo.

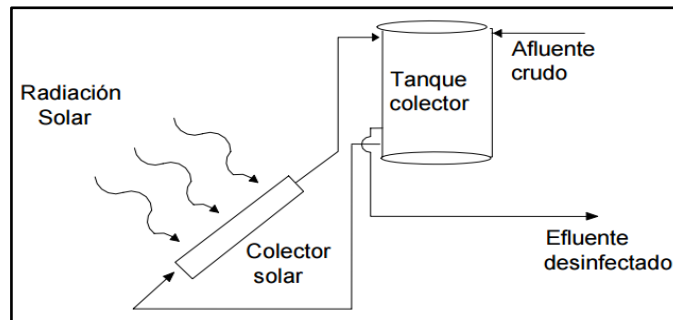


Figura 36-1. Esquema de un termosifón para calentamiento de agua-desinfección solar
Fuente: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/libro.pdf>

A pesar de lo interesante del método y de sus escasos requerimientos, hay demasiadas variables que condicionan su eficiencia y la eventual seguridad del agua tratada. La latitud y la altitud geográfica, la estación, el número de horas de exposición, la hora, las nubes, la temperatura; el tipo, el volumen y el material de los envases que contienen el agua; la turbiedad de agua y el color; son, entre otros, los parámetros que podrían interferir en una desinfección perfecta.

La Organización Mundial de la Salud considera a la SODIS una opción válida, pero solo como un “método menor y experimental”. Aun así, en áreas donde no hay otro medio disponible para desinfectar el agua, puede mejorar sustancialmente la calidad bacteriológica de la misma.

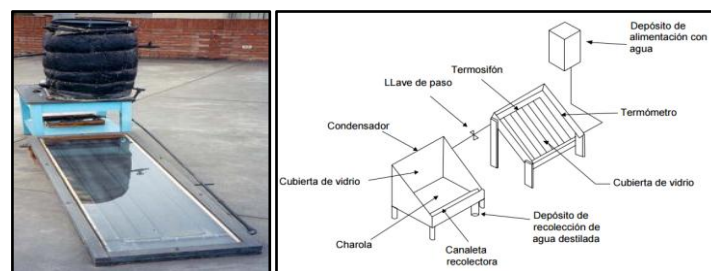


Figura 37-1. Dispositivo combinado desinfección solar.
Fuente: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/libro.pdf>

1.5.1 Cloración

Para la cloración se utiliza el cloro, que es un oxidante poderoso, es el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, incluyendo su fácil dosificación y costo conveniente.

Sin embargo, presenta algunas desventajas:

- a) Es muy corrosivo.
- b) Puede producir sabor desagradable en el agua, incluso en altas concentraciones que no significan riesgo para el consumidor.
- c) Su manejo y almacenamiento requiere ciertas normas de seguridad, para
- d) Evitar riesgos en la salud de los operadores.
- e) El cloro, en condiciones normales de presión y temperatura, es un gas verde, dos y media veces más pesado que el aire.

❖ Características del cloro como desinfectante

- a) Destruye los organismos patógenos del agua en condiciones ambientales y en un tiempo corto.
- b) Es de fácil aplicación, manejo sencillo y bajo costo.
- c) La determinación de su concentración en el agua es sencilla y de bajo costo.
- d) En las dosis utilizadas en la desinfección de las aguas, no constituye riesgo para el hombre ni para los animales.
- e) Deja un efecto residual que protege el agua de una posterior contaminación en la red de distribución.

Tabla 7-1. Cuadro comparativo de ventajas y desventajas de la dosificación del cloro y derivados

CLASIFICACIÓN	DOSIFICADOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Cloro gaseoso	❖ Al vacío	Producción de cloro casi en todos los países.	Instalación muy costosa para poblaciones pequeñas. Personal necesita capacitación. Si no es operado adecuadamente puede ser peligroso debido a que el gas es venenoso. No es recomendado para sistemas que tratan caudales menores de 500m ³ /día. En el caso de clorador al vacío requiere de energía eléctrica.
	❖ A presión	Producto químico barato. En caso de clorador a presión no requiere de energía eléctrica.	
Cloro en Solución	BAJO PRESIÓN ATMOSFÉRICA, DE CARGA CONSTANTE		
	Tanque con válvula de flotador	Sencillo de operar y mantener. Muy barato.	La dosificación no es muy precisa. Error alrededor del 10%. Exige

		Pueden construirse localmente. Confiable. No necesita energía eléctrica. Permite dosificar para caudales mínimos. Se puede usar en cualquier situación, excepto en pozos tubulares cerrados.	control constante debido a la variación de dosificaciones. El material se puede corroer.
	Tubo con orificio en flotador	Carga constante. Sumamente sencillo. Muy barato. Confiable. No necesita energía eléctrica.	Según la manera en que el sistema fue construido, puede llegar a tener un error de dosificación de hasta un 20%
	Sistema vaso botella	Sumamente sencillo. Muy barato. Ideal para comunidades pequeñas. Error de dosificación menor del 10%. No necesita energía eléctrica.	Debe mantenerse limpio.
Bajo presión positiva o negativa			
	Bomba de diafragma (positiva)	Sumamente confiable, muy popular, sencillo de operar, uno de los pocos sistemas para trabajar bajo presión, puede introducir la solución directamente en tuberías de agua presurizada hasta con 6.0 kg/cm ² .	El personal debe capacitarse en su operación y mantenimiento. Costo intermedio, elevado para un sistema rural. Requiere energía eléctrica. Debe vigilarse. A veces hay corrosión en el rotor de la bomba debido al cloro.
	Dosificador por succión (negativa)	Muy sencillo. La solución más barata para una alimentación en tuberías presurizadas.	Requiere vigilancia y mantenimiento para evitar obstrucciones en dispositivo Venturi.
	Generador de hipoclorito de sodio in situ	No requiere transporte de productos clorados. Se produce in situ. Sencillo y fácil de operar.	Requiere de agua blanda para que no se acumulen depósitos en los electrodos. Requiere de vigilancia constante y personal entrenado para tomar precauciones de seguridad por la formación de gas cloro. Producción limitada a la capacidad del equipo.
Cloro sólido	Dosificador de erosión	Sumamente sencillo. Ideal para pequeñas comunidades. Una de las mejores soluciones para	Costo intermedio. Alrededor de 10% de errores en la dosificación. Necesita tabletas. En algunos dosificadores las tabletas (si se

		dosificación a la entrada de un tanque. No necesita energía eléctrica.	producen localmente) tienen a adherirse o a formar cavernas y no caen en la cámara de disolución.
--	--	--	---

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsac/fulltext/libro.pdf>

1.6 PARÁMETROS DE OPTIMIZACIÓN

A continuación, se presentan los parámetros necesarios para realizar la optimización tanto en el aireador como el sedimentador.

1.6.1 Carga superficial

Para la determinación de la carga superficial actual de un sedimentador convencional es la relación del caudal sobre el área lo cual indica que la sedimentación es función del área superficial e independiente de la profundidad.

$$C_s = \frac{Q}{A} \text{Ec. 3-1}$$

Dónde:

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

Q = Caudal (m^3/d).

A = Área superficial (m^2).

1.6.2 Velocidad crítica

La velocidad de sedimentación depende de una correcta coagulación y floculación, además de calidad de fuente a tratar. En teoría todas las partículas mayores o igual a la velocidad crítica serán removidas.

La velocidad crítica de asentamiento o sedimentación está dada por:

$$v_{sc} = \frac{S_c v_o}{\text{sen } \theta + L \cos \theta} \text{Ec. 4-1}$$

Dónde:

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

S_c = 1.0 para sedimentadores de placas paralelas

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

L = Longitud relativa efectiva de sedimentación en flujo laminar.

θ = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación.

1.6.3 Longitud Relativa

En el sedimentador laminar la longitud relativa del sedimentador está dado por la siguiente ecuación:

$$L = \frac{l}{d} \quad \text{Ec. 5-1}$$

La longitud relativa relaciona la longitud de las placas inclinadas (l) con el ancho del canal (d) formado por las mismas. La recomendación para la longitud relativa debe ser igual a 20 y menor a 40.

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:

$$L' = 0.013 \frac{v_0 d}{\nu} \quad \text{Ec. 6-1}$$

$$L' = 0.013 N_{RE} \quad \text{Ec. 7-1}$$

Dónde:

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

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, con lo cual se provee un factor de seguridad en el diseño:

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

1.6.4 Número de Reynolds

Se recomienda verificar el número de Reynolds para garantizar flujo laminar en los sedimentadores. Generalmente $N_{RE} < 500$ (adimensional).

$$N_{RE} = \frac{v_o * d}{\nu} \text{Ec. 8-1}$$

Dónde:

v_o =velocidad promedio de flujo del sedimentador

d = ancho del sedimentador

ν = viscosidad cinemática

1.6.5 *Tiempo de Retención*

Tiempo de retención en el tanque de sedimentación en sedimentadores de placas es de 15 a 25 minutos.

$$t = \frac{l}{v_o} = \text{min Ec. 9-1}$$

1.6.6 *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 .

1.6.7 *Tiempo de retención*

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:

$$T = \frac{V}{Q} = \frac{Ad}{Q} \text{Ec.10-1}$$

1.6.8 *Determinación del número de placas N:*

$$N = \frac{L_S \text{ sen } \theta + d}{d+e} \text{Ec. 11-1}$$

Dónde:

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).

1.6.9 Criterios complementarios

Tabla 8-1 Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares

PARÁMETRO	VALOR
Tiempo de retención en las placas	15 – 25 min
Número de Reynolds	< 500 (Fisherstrom) < 250 (Arboleda) < 200 (Montgomery) < 280 (Schulz y Okun)
Inclinación de lasplacas	60°
Distancia entre places	5 cm
Profundidad	3 – 5 m
Pendiente del fondo	> 2%

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

Tabla 9-1. Parámetros de Diseño de las Placas Planas de Asbesto - Cemento

PARÁMETRO	VALOR
Longitud	1,20 m
Ancho	2,40 m
Espesor	0,01 m

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

Tabla 10-1. Valores de S_c Típicos

TIPO DE MÓDULO	S_c
Placas planas paralelas	1
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Placan onduladas	1,30
Otras formas tubulares	1,33 – 1,42

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: VILLEGAS, M. P. Purificación Aguas. Sedimentadores

Tabla 11-1. Viscosidad Cinemática del Agua a 1 Atmósfera

TEMPERATURA °C	Viscosidad Cinemática v 10⁶ m²/s
15	1,140
17	1,082
18	1,054
19	1,029
20	1,004

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

1.7 TRATAMIENTO DE LODOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

En el tratamiento del agua destinada al consumo humano, las sustancias en suspensión y algunas otras disueltas, en esta agua, junto a los residuos de los coagulantes y otros reactivos empleados en el tratamiento, son separadas, quedando un residuo de distinta naturaleza, que en un tratamiento convencional pueden ser las siguientes:

- ✓ Residuos de la coagulación/floculación generados principalmente en los decantadores y en los filtros.
- ✓ Residuos de posibles procesos de ablandamiento.
- ✓ Residuos de la eliminación de hierro, manganeso y del empleo de permanganato potásico.
- ✓ Residuos de carbón activo (sí se emplea carbón en polvo en el proceso de potabilización).

La variedad o diferentes características de los fangos dependen esencialmente de la calidad del agua bruta y del tratamiento aplicado. Los lodos se originan por la acumulan en los decantadores y lechos de filtrado y están constituidos principalmente de:

- ✓ Materias finas o coloidales en suspensión como partículas de arena, arcilla y limo, sedimento, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, algas, plancton y otros organismos microscópicos, como bacterias y virus, causantes de la turbiedad.
- ✓ Los residuos de los productos químicos utilizados para el proceso de tratamiento.

Estos lodos tienen un gran volumen, el cual está compuesto principalmente por agua, y son tixotrópicos, es decir, tienen características gelatinosas en reposo, pero líquidas en movimiento. Además, son compresibles y resistentes al espesamiento y deshidratación, especialmente aquellos generados con aguas de baja turbiedad.



Figura 38-1. Secado de Lodos

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/tratamiento-calidad-/tratamiento-calidad-agua-potable.pdf>

Tabla 12-1. Parámetros en la decantación de lodos

Lodo generado	Volumen de agua tratada por la planta (%)	0,06-0,25
Decantadores	Razón DBO/DQO Baja proporción de materia orgánica biodegradable.	15:1
	Parámetros	Valores
	DBO	30-300 mg/l
	DQO	30-5.000 mg/l
	Sólidos volátiles	30 %
	Remoción del lodo	
	Puede ser manual (intermitente) o mecanizada (continua), con accionamiento manual o automático	
	Remoción Manual	Remoción Mecánica
	La unidad se vacía, de 30 a 120 días, dependiendo de la turbiedad del agua, por medio de un desagüe en el fondo. La concentración de los lodos varía apreciablemente durante el desagüe y arrastre de fondo, en un rango de 0.2 a 2%. Terminado el desagüe, los bancos de lodo depositados en el fondo del decantador (concentraciones de 4 a 13%) son removidos con maquinarias y agua a presión	Cuando la limpieza es mecanizada, esta se realiza por bombeo o sifonamiento, con concentraciones que varían entre 0.1 y 6%, dependiendo de la frecuencia de lavado, requiriendo, además, una limpieza periódica manual. En los filtros, los lodos son removidos en el lavado de las unidades filtrantes cada 12 a 24 horas, de acuerdo a turbiedad del agua cruda, con un caudal del orden del 1 al 5% del agua filtrada. La concentración de sólidos totales varía de 0.01 a 0.1%, con una DBO del orden de 10 mg/l y DQO del orden de 100 mg/l.

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexico/02263e09.pdf>

El lodo es por mucho, el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos.

1.7.1 Factores que caracterizan las propiedades del lodo

Es necesario conocer para su tratamiento posterior, las características que definirán la capacidad de deshidratación y filtración de los lodos. Existen varios parámetros que influyen en la deshidratabilidad, éstos se han clasificado en características físicas y químicas.

1.7.1.1 Características físicas

Algunas pruebas que definen las características del lodo pueden ser usadas como ayuda en la selección de un proceso de deshidratación y para determinar las dosis de acondicionamiento. Las dos pruebas principales son: la resistencia específica a la filtración y el tiempo a la filtración.

- ❖ *Resistencia específica a la filtración (r)*: Es la resistencia que opone a la filtración una cantidad de lodo depositada en un área de la superficie filtrante. Esta prueba tiene gran utilidad ya que determina las necesidades de tratamiento para producir una torta que ofrezca mínima resistencia y optimizar el funcionamiento de la deshidratabilidad del lodo.
- ❖ *Tiempo a la filtración (tF)*: esta prueba es una simplificación de la prueba de la resistencia específica a la filtración, es superior en simplicidad, rapidez y facilidad de realización, sin embargo, la concentración de sólidos totales en el lodo tiene un efecto significativo en los resultados.

1.7.1.2 Características químicas

Es importante conocer las diferentes formas en las que se encuentra constituida el agua. El contenido de humedad en un lodo es dividida en dos categorías: humedad libre (no asociada con los sólidos), eliminable con bastante facilidad y humedad ligada.

Tsang y Vesilind, distinguen tres tipos de humedad ligada: intersticial, superficial y químicamente ligada. La proporción de humedad libre y ligada es determinante en la deshidratación de un lodo.

En tanto que Coackley y Allos, estudiaron las características de secado de algunos lodos mediante curvas termo gravimétricas, éstas se establecen mediante la pérdida de peso de agua, a temperatura constante. A partir de estas curvas se observó que el secado sigue tres etapas: una de periodo de velocidad constante de humedad con respecto al tiempo y posteriormente se observan dos periodos de disminución a velocidades de deshidratación diferentes.

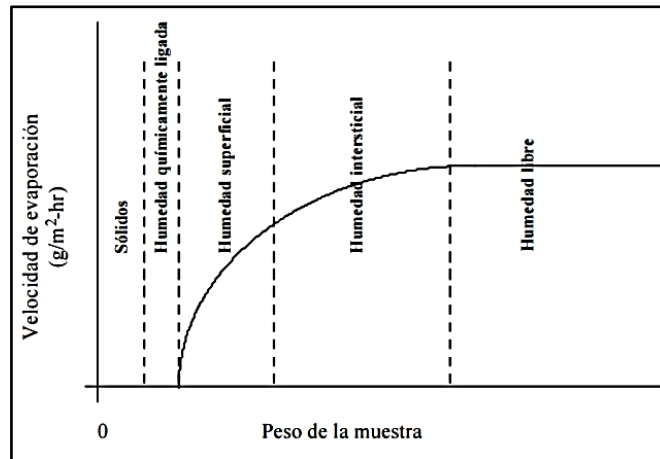


Figura39-1. Curva de secado para identificar los tipos de humedad en el lodo
Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicon/R-0063.pdf>

- ❖ *Humedad libre:* Representa la mayor parte del lodo y termodinámicamente se comporta como agua pura, se define como la cantidad de agua removida durante el periodo de velocidad constante. Esta humedad no está asociada a las partículas sólidas e incluye agua que no es afectada por fuerzas de capilaridad. Puede ser eliminada por espesamiento, acondicionamiento o por aplicación de una tensión mecánica frágil.
- ❖ *Humedad ligada:* Generalmente representa una pequeña proporción del agua total contenida en el lodo (menos de la tercera parte), sin embargo, en términos de masa es más grande que la fase sólida. En un lodo, la humedad ligada no se comporta como agua pura.
 - a) *Humedad intersticial:* Es la humedad removida durante el primer periodo de disminución de velocidad. El agua está ligada dentro de la estructura del flóculo y puede convertirse en humedad libre si éste es destruido. El ligamento se da por tensión superficial y fuerzas atractivas, el lodo está en suspensión y existe el fenómeno de capilaridad cuando la torta se forma. Esta humedad es removida por compactación y deformación de los flóculos.
 - b) *Humedad superficial:* Es la humedad removida durante el segundo periodo de disminución de velocidad. Múltiples capas de moléculas de agua están sujetas a la superficie de la partícula por adsorción y adhesión y puede ser removida por deshidratación mecánica. La mayor diferencia entre la humedad superficial y la intersticial es que la última es libre de moverse cuando el confinamiento físico es eliminado, mientras que la primera no está libre de moverse porque se adhiere a la superficie de la partícula sólida.
 - c) *Humedad químicamente ligada:* Esta humedad se fija a los sólidos por ligamentos químicos. Para su liberación se necesita una energía bastante fuerte, por ello, solo puede separarse por medios térmicos potentes tales como acondicionamiento, secado o incineración.

1.7.2 Tratamiento de lodos

Existen varios tratamientos para lodos los mismos que dependen de las características de donde provienen estos. El manejo de los lodos de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) convencionales considera, típicamente, cinco etapas, de las cuales la cuarta etapa corresponde al tratamiento de lodos, el cual puede ser la deshidratación.

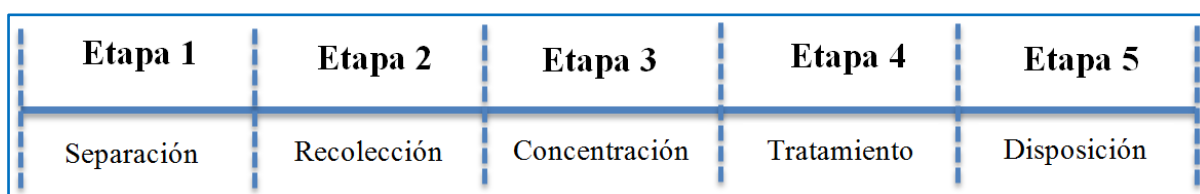


Figura 40-1. Etapas básicas para el manejo de desechos de PTAP convencionales.

Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexico/02263e09.pdf>

Los métodos más comunes utilizados para la deshidratación de los lodos de las PTAP convencionales se clasifican de la siguiente forma:

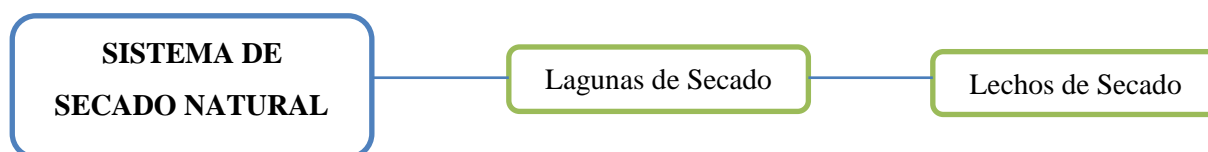


Figura 41-1. Sistema de Secado Natural.

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

- ❖ En las lagunas, el secado de los lodos se realiza por la separación del sobranante utilizando la deshidratación de lodos, mediante lechos de secado de arena (LSA) el mismo que ocurre a través de dos mecanismos: filtración y evaporación del agua.

Para estudiar estos mecanismos se debe trabajar con dos parámetros: la resistencia específica a la filtración (r) y el porcentaje de humedad (% H).

En este procedimiento, la carga óptima de aplicación de sólidos (kg/m^2) en función de la concentración de sólidos y profundidad óptima de aplicación del lodo en el lecho depende de la resistencia específica a la filtración del lodo a una presión diferencial de 0.5 bar en donde la resistencia específica del lodo a la filtración es de $r = 0.5 \text{ cm/g}$, es decir, para los lodos difíciles de deshidratar, la resistencia específica a la filtración del lodo $r > 0.5$ mayor a 50 Tm/kg , se recomienda menos de 0.46m de profundidad de arena filtrante y para lodos fáciles de deshidratar, acondicionados químicamente, $r < 0.5$ menor a 0.1 Tm/kg , hasta 0.61 m de profundidad de arena filtrante. La carga de aplicación típica de aplicación de sólidos es de 40 kg/m^2 , para zonas lluviosas y 80 kg/m^2 en regiones secas.

- ❖ En los lechos de secado, la remoción de agua se realiza por los mismos mecanismos que en las lagunas, agregándose el drenaje gravitacional a través de arena, grava y tubería de recolección. Su diseño es igual a sus similares de A.S., con profundidades de aplicación de 0.3 a 0.9 m. Para lodos sin acondicionar, se han aplicado cargas de 15 a 20 lt lodo/m²/día, con un ciclo de secado de 3 a 4 días.

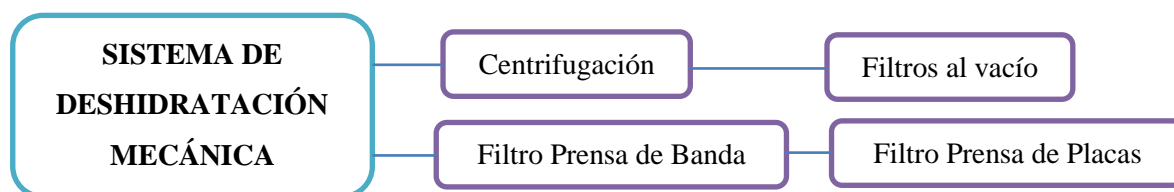


Figura 42-1. Sistema de Deshidratación Mecánica.

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Cada equipo tendrá una eficiencia y carga de aplicación recomendada que dependerá de:

- ✓ La naturaleza del lodo.
- ✓ El grado de acondicionamiento químico.
- ✓ La frecuencia de utilización.
- ✓ La mantención y el producto final deseado.

En las centrifugas, el lodo está sometido dentro de un recipiente cilindro-cónico que gira a alta velocidad, para remover el agua. La fuerza actúa desde el centro hacia las paredes causando la sedimentación de las partículas junto a estas y la separación de la fracción líquida, menos densa, en la parte interna. La remoción de los sólidos se hace a través de un tornillo helicoidal, sin fin, que gira dentro del rotor a una velocidad distinta, mayor o menor.

En los filtros al vacío, la remoción del agua contenida en el lodo se realiza por un vacío creado dentro de un tambor recubierto, externamente, con un tejido filtrante. Al girar parcialmente sumergido en un recipiente con lodo acondicionado, el vacío provoca un flujo de líquido hacia el interior del cilindro, permitiendo la retención de las partículas mayores que los poros del material filtrante y, además, de las partículas de tamaño inferior que se adhieren al material ya filtrado, la torta, en la superficie externa del tambor.

- ✓ En los filtros prensa de banda, la remoción del agua incluye tres etapas:
- ✓ Un acondicionamiento químico, usualmente con polielectrolito orgánico.
- ✓ Un drenaje y espesamiento gravitacional a una consistencia no fluida.

Posteriormente, la compresión del lodo, a baja presión, entre dos bandas sin fin que atraviesan un conjunto de rodillos ajustables de variados diámetros.

En los filtros prensa de placas, la remoción se realiza por medio de un bombeo al interior de cámaras recubiertas con tejido filtrante, definidas entre dos placas adyacentes. Al continuar bombeando, se fuerza un flujo a través de la torta que se forma en el interior de las cámaras, por la acumulación de sólidos en la superficie del tejido.

Cuando los sólidos y el agua remanente llenan el volumen disponible, el bombeo se detiene, la prensa se abre permitiendo la salida de cada una de las tortas de lodo deshidratado contenidas en las cámaras, se ensambla la prensa y se vuelve a iniciar el ciclo.

Tabla 13-1. Ventajas y desventajas de los sistemas de secado

VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE SECADO	
SISTEMAS DE SECADO NATURAL	SISTEMAS DE SECADO MECÁNICO
El costo de su implementación, siempre que se disponga del área suficiente a bajo precio	Necesita áreas menores.
Tienen un bajo consumo de energía y de productos químicos.	Independencia de las condiciones meteorológicas
Una baja sensibilidad a las variaciones cuantitativas y cualitativas del lodo y simplicidad de operación.	Minimización de ciertos impactos ambientales.
Son apropiados para plantas pequeñas o aisladas dadas sus altas exigencias de superficie.	
DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE SECADO	
Alta dependencia de las condiciones climáticas.	Mayor consumo de energía.
Alto requerimiento de mano de obra para la remoción del lodo.	Necesita utilizar acondicionantes químicos adecuados.
	Alta sensibilidad a las variaciones cualitativas y cuantitativas del lodo.
	Necesita de un lavado frecuente de las telas filtrantes y otros equipos en contacto directo con el lodo.
	Eventuales problemas de ruido y vibraciones excesivas provocadas por el funcionamiento de las bombas y motores.

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexico/02263e09.pdf>

1.8 DIAGRAMA DE LOS PROCESOS DEL TRATAMIENTO DE AGUA PARA SU POTABILIZACIÓN

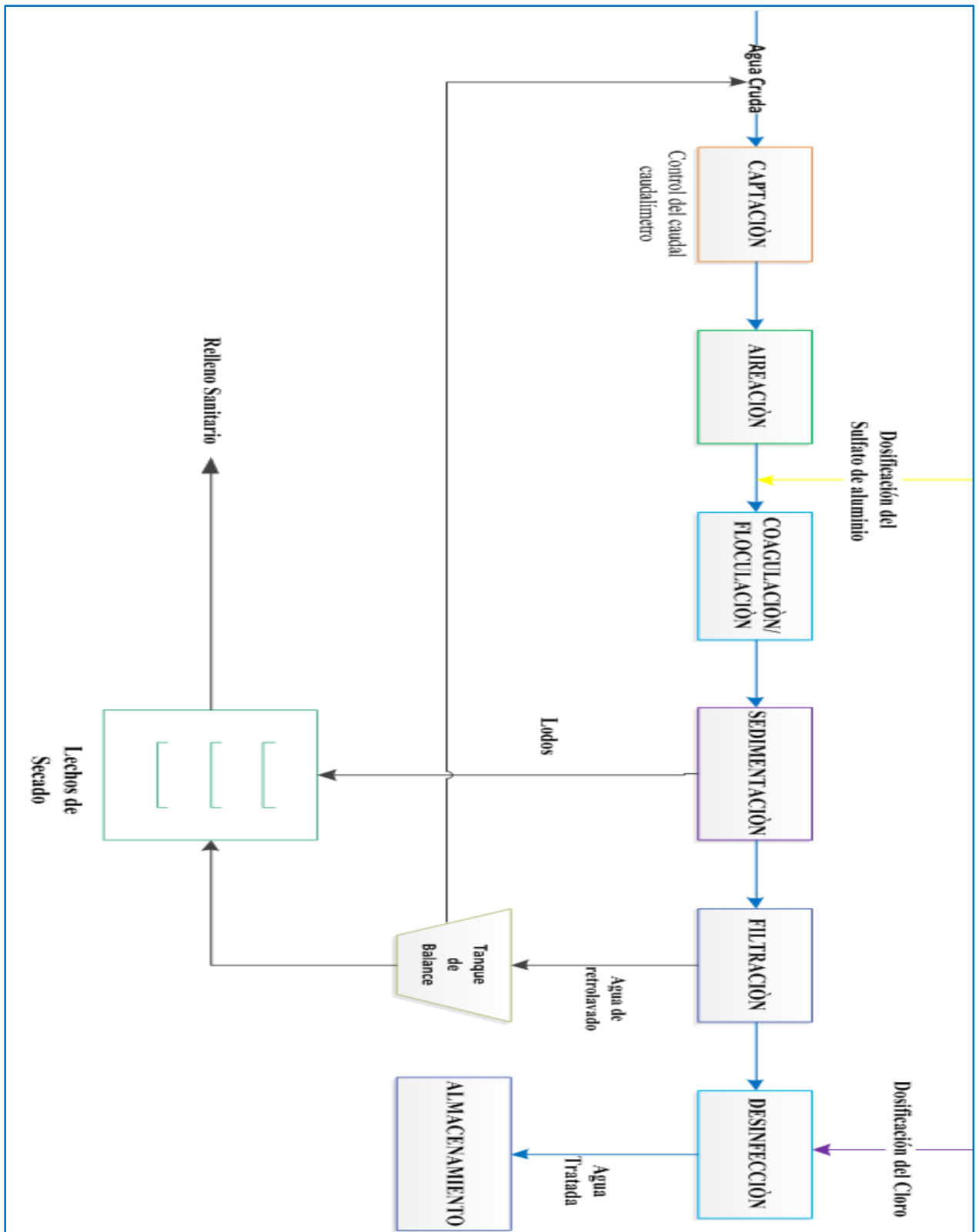


Figura 43-1. Diagrama de los procesos del tratamiento de agua para su potabilización.

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

1.9 OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

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.

La optimización de la planta de tratamiento de agua potable Chaquishca tiene como propósito analizar e identificar la mejor solución de los problemas en el sistema actual, utilizando y empleando la mínima cantidad de recursos de esta manera asegurar una rentabilidad económica y lograr satisfacer los requerimientos de calidad del agua potable de acuerdo a la norma de calidad NTE 1 108:2006.

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

La optimización generalmente se la hace aproximadamente a 15 años dependiendo del número de habitantes.

Para mejorar y distribuir agua con los más altos estándares de calidad indicados en la norma se ha visto la necesidad de optimizar ciertos procesos dentro del tratamiento de agua que se realiza actualmente en la planta de potabilización Chaquishca.

1.10 PRUEBA DE JARRAS

La prueba de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o el tratamiento de aguas residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento.



Figura 44-1. Prueba de Jarras

Fuente: CAVANELAS Y JIMENEZ, 2006

Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.

Los procedimientos de prueba de jarras incluyen los siguientes pasos:

- ❖ Llene los recipientes de prueba frasco aparato con la muestra de agua. Un contenedor se utilizará como control mientras que los otros cinco contenedores se pueden ajustar dependiendo de qué condiciones se encuentran en evaluación. Por ejemplo, el pH de los frascos se puede ajustar o variaciones de las dosis de coagulante se puede agregar a determinar las condiciones óptimas de funcionamiento.
- ❖ Añadir el coagulante a cada contenedor y agitar a aproximadamente 100 rpm por 1 minuto. La etapa de mezcla rápida ayuda a dispersar el coagulante a través de cada contenedor. Coagulantes son aditivos químicos, tales como sales metálicas, que ayudan a producir más pequeños agregados para formar partículas más grandes.
- ❖ Reducir la velocidad de agitación de 25 a 35 rpm y continúe batiendo por 15 a 20 minutos. Esta velocidad más lenta de mezcla ayuda a promover la formación de flóculos mediante la mejora de las colisiones de partículas que dan lugar a grandes flóculos. Estas velocidades son lo suficientemente lento como para evitar Sheering del flóculo debido a la turbulencia causada por la agitación.
- ❖ Apague los mezcladores y permitir que los contenedores que conformarse con 30 a 45 minutos. A continuación, medir la turbidez final en cada contenedor. La turbidez final se puede evaluar más o menos a simple vista o con más precisión usando un nefelómetro.

CAPITULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Localización de la Investigación

La Optimización del Sistema de Tratamiento de Agua Potable “Chaquishca” se desarrolló en la misma planta de agua potable ubicada en la ciudad de Guaranda, provincia de Bolívar.

2.1.1 Recopilación de la información

Los métodos empleados para el desarrollo de esta investigación son la recopilación y análisis de documentos.

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.

2.2 MUESTREO

2.2.1 Recolección de Muestras

La recolección de muestras se efectuó de acuerdo al cronograma establecido que se llevó a cabo en el laboratorio de la planta de tratamiento Chaquishca donde se realizó el análisis de las muestras evitando la alteración de las mismas. Las muestras fueron tomadas en los siguientes puntos:

Tabla 1-2. Puntos de Muestreo

LUGAR DE MUESTREO	MESES			DIAS DE MUESTREO	NUMERO DE MUESTRAS DIARIAS	TOTAL DE MUESTRAS
	FEBRERO	MARZO	ABRIL			
Ingreso a la Planta	5	5	5	15	1	15
Tanques de Almacenamiento						

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

2.3 METODOLOGIA

❖ Metodología de trabajo

Para el desarrollo de esta investigación se trabajó con muestras mensuales de agua cruda, durante 5 días en cada mes obteniendo un total de 15 muestras las mismas que fueron recolectadas cuidadosamente para su posterior caracterización físico – químico y bacteriológico en el laboratorio de agua potable de la planta de tratamiento Chaquishca.

2.3.1 Tratamiento de las muestras

Para el tratamiento se tomó 5 muestras en cada mes de los diferentes puntos de muestreo, donde se realizó la caracterización físico –química y microbiológica que consta de 33 parámetros especificados en la siguiente tabla:

Tabla 2-2. Parámetros de Caracterización de Agua Potable

Nº	PARÁMETRO	UNIDAD
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS		
1	Color	UCV
2	Turbiedad	NTU
3	Olor	---
4	Sabor	---
5	pH	---
6	Solidos totales disueltos	mg/L
SUSTANCIAS INORGÁNICAS		
7	Aluminio	mg/L
8/9	Amonio (salicílico /Nessler)	mg/L
10	Bario	mg/L
11	Bromo	mg/L
12	Cianuro	mg/L
13	Cloruros	mg/L
14	Cobalto	mg/L
15	Cobre	mg/L
16	Cromo IV	mg/L
17	Cromo total	mg/L
18	Dureza	mg/L
19	Fluoruros	mg/L
20	Fosfatos	mg/L
21	Hierro	mg/L
22	Manganeso	mg/L
23	Molibdeno	mg/L

24	Níquel	mg/L
25	Nitratos	mg/L
26	Nitritos	mg/L
27	Plata	mg/L
28	Plomo	mg/L
29	Sulfatos	mg/L
30	Zinc	mg/L
31	Trihalometanos	mg/L
MICROBIOLÓGICOS		
32	Coliformes totales	NPM/100ml
33	Coliformes fecales	NPM/100ml

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: Norma INEN 1108:2006, segunda edición.

2.3.2 EQUIPOS MATERIALES Y REACTIVOS

Tabla 3-2. Equipos materiales y reactivos

EQUIPOS	MATERIALES	REACTIVOS
• Colorímetro	• Erlenmeyer	• Reactivos HACH
• Conductímetro	• Film protector	• Indicadores PAN
• Fotómetro	• Matraz	• Solución EDTA
• pH-metro	• Probetas	• Solución Buffer
• Turbidímetro	• Espátula	• Solución férrica
• Espectrofotómetro o	• Tubos de ensayo	• Spands
HACH	• Vasos de precipitación	• Agua destilada
• Equipo de jarras	• Buretas	• Colorante negro de
• Estufa	• Pinzas	Eriocromo T
• incubadora	• Peras	(indicador).
• Balanza analítica	• Varillas de agitación	• Soluciones
• Baño María		amortiguadoras
• Reverbero		pH4, pH7
• Cronometro		

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

2.4 METODO Y TÉCNICAS

2.4.1 Métodos

Los métodos utilizados están adaptados al manual Estándar Methods for Examination of wáter and Waste water (Métodos Normalizados para el análisis de Agua Potable y residuales) y el manual de métodos HACH.

Tabla 4-2. Método de análisis

PARÁMETRO	MÉTODO	FUNDAMENTO
Color	Comparativo	Tomar una muestra en un recipiente del comprador y en otro colocar agua destilada se procede a leer y a registrar el valor obtenido
pH	Potenciómetro	Mediante el electrodo de cristal del equipo , se lee y se procede a registrar el valor obtenido
Turbiedad	Nefelométrico	Mediante el electrodo de cristal del equipo , se lee y se procede a registrar el valor obtenido
Conductividad	Electrométrico	Mediante el electrodo de cristal del equipo , se lee y se procede a registrar el valor obtenido
Sólidos totales disueltos	Electrométrico	Mediante el electrodo de cristal del equipo , se lee y se procede a registrar el valor obtenido
Dureza	Volumétrico	Tomar 25 ml de la muestra, seguido de 1 ml de solución tapón , más una pizca de negro de Eriocromo T en polvo y titular con EDTA 0.02 N.
Aluminio	Espectrofotómetro	Tomar 25 ml de la muestra en un tubo de inversión, colocar los reactivos que indica el manual y registrar los resultados.
Hierro Cloruros Fosfatos Nitritos Nitratos Bromo Cromo Níquel Cobalto Cloro libre residual Sulfatos	Espectrofotométrico	Tomar 10 ml de muestra y colocar los reactivos indicados en el manual y registrar los resultados.
Manganeso Fluoruro 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.
Plomo Zinc Plata Cianuro	Fotométrico	Colocar los reactivos en el manual y registrar los resultados.
<i>Escherichia Coli</i> <i>Coliformes totales</i>	Filtrado	Esterilizar el equipo microbiológico. Tomar 50 ml de muestra para filtrar, verter el reactivo a temperatura correspondiente.

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: Técnicas del Laboratorio de Análisis Técnico

2.5 DATOS EXPERIMENTALES

2.5.1 Descripción del estado actual de la Planta de Tratamiento

La planta de tratamiento Chaquishca actualmente se abastece de aguas subterráneas provenientes del volcán Chimborazo. La planta de tratamiento Chaquishca consta de procesos como son: aireación, sedimentación, desinfección y almacenamiento. La planta de tratamiento cuenta con un laboratorio de control de calidad del agua.

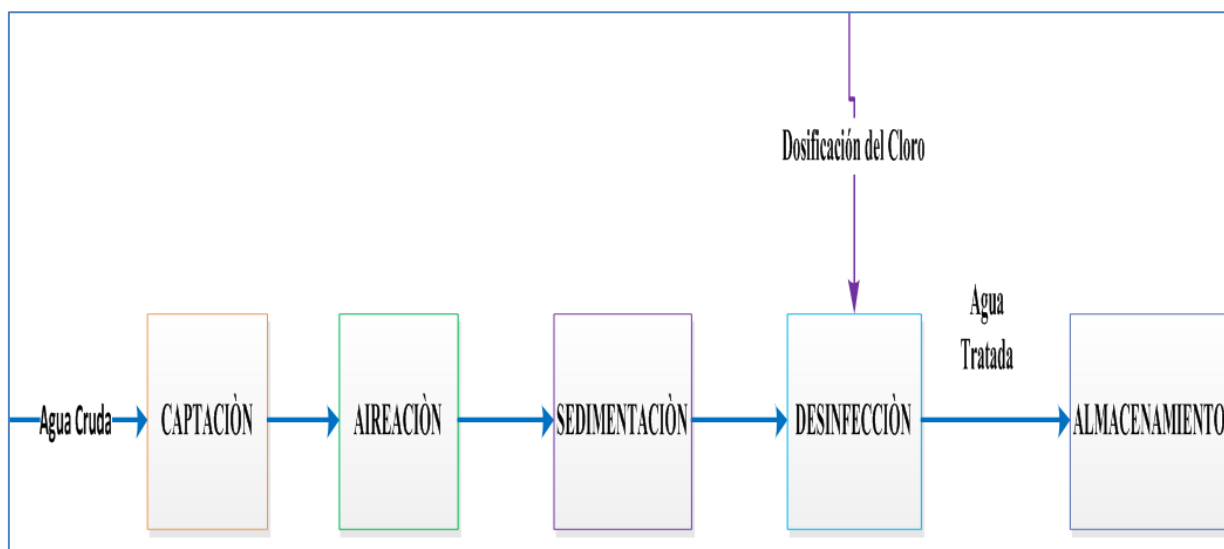


Figura 1-2. Sistema del tratamiento Actual.

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

2.5.1.1 Procesos existentes

❖ AIREACION

El proceso de aireación actualmente consta de 12 torres y 72 bandejas. El agua cruda no ingresa en su totalidad al proceso sino de un 40 a 45 % de todo el caudal, debido a que este proceso fue diseñado para tratar un caudal de 101 L/s con el cambio de tubería en el sistema de conducción actualmente se tiene un caudal de 150 L/s ocasionando que al momento de ingresar el agua a la torre el líquido se regrese ya que no abastece las duchas de cada torre, por lo que del 55-60% se envía por una tubería directa al siguiente proceso de sedimentación y el agua presenta inconvenientes ya que no se logra la oxidación del líquido y la eliminación de gases, hierro y manganoso.

Estos inconvenientes se evidencian por quejas de los usuarios. El líquido presenta un precipitado de color anaranjado en la parte inferior del tanque otro inconveniente es que el agua no se airea por lo que el líquido presenta lechosis que tarda de 1-2 min en desaparecer.

❖ SEDIMENTADOR

El proceso de decantación es un sedimentador longitudinal de tipo convencional que actualmente presenta inconvenientes debido a la irregularidad del trayecto del sistema de conducción se presenta eventual y frecuentemente en época invernal presencia de turbiedad en el agua que sobrepasa los límites permisibles por la norma.

Actualmente este tanque cuenta con placas planas las mismas que cumplieron su tiempo de vida útil y al dosificar coagulantes y floculantes para la clarificación se requiere la implementación de placas en buen estado para que la retención de partículas sedimentadas y mejorar la calidad del agua.

❖ DESINFECCIÓN

En la planta existe un tanque de desinfección en cual no presenta ningún inconveniente.

2.6 DATOS

2.6.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

Para la caracterización del agua se tomó las muestras de agua cruda en la torre de aireación y, durante cuatro semanas, tres días a la semana. Evidenciando con estos resultados los problemas de turbiedad que se presentan en el proceso de captación.

Para determinar la calidad de agua se realizó una caracterización físico-química y microbiológica, los datos se los muestran en las siguientes tablas.

Tabla 5-2. Análisis Físico - Químico y Bacteriológico-Entrada Agua en la Planta de Tratamiento Chaquishca

PARAMETROS	UNIDAD	FEBRERO				
		16-feb	18-feb	20-feb	24-feb	26-feb
COLOR	UTC	1,00	1,00	1,00	15,00	10,00
TURBIEDAD	NTU	0,49	0,35	0,54	30,16	24,93
pH	.....	7,54	6,98	7,12	7,09	6,57
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	464,00	420,67	201,65	133,4	452,96
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	225,00	220,08	106,58	63,50	220,64
TEMPERATURA	° C	18,80	18,54	14,56	15,46	18,74
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	3,20	2,68	1,20	1,80	2,96
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,005	0,007	0,005	0,006	0,008
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0,65	0,59	0,84	0,68	0,78
NITROGENO AMONICAL (NH ₃ -N)	mg/L	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	4,00	1,00	4,00	1,00	3,00
FLUORUROS (F)	mg/L	0,46	0,43	0,50	0,42	0,64
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0,23	0,14	0,27	0,31	0,24
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0,024	0,057	0,042	0,048	0,054
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,010	0,009	0,009	0,006	0,007

COBRE (Cu)	mg/L	0,03	0,05	0,05	0,05	0,03
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	62,00	58,00	58,00	40,00	54,00
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0,006	0,008	0,008	0,008	0,008
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	6,60	4,82	4,82	0,86	0,64
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,009	0,006	0,006	0,008	0,009
COBALTO (Co)	mg/L	0,005	0,008	0,008	0,009	0,009
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	0,23	0,18	0,27	0,20	0,17
BROMO (Br)	mg/L	0,03	2,45	0,06	2,85	1,92
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	0,65	0,30	0,42	0,34	0,26
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L	36,00	10,00	26,00	10,00	13,00
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	42	68	50	20	30
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	24	30	10	4	6

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: Dpto. Control de Calidad E.P-EMAPA-G

Tabla 6-2. Análisis Físico - Químico y Bacteriológico-Entrada Agua en la Planta de Tratamiento Chaquishca mes de Marzo

PARAMETROS	UNIDAD	MARZO				
		02-mar	05-mar	09-mar	11-mar	23-mar
COLOR	UTC	40,00	1,00	1,00	1,00	25,00
TURBIEDAD	NTU	70,42	0,60	0,75	0,56	50,68
pH	.....	7,18	7,02	7,46	7,36	6,89
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	425,89	102,68	94,62	405,87	208,52
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	220,96	39,86	40,29	218,42	110,68
TEMPERATURA	° C	17,54	13,98	13,57	17,90	14,97
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	4,27	0,98	0,92	3,45	0,98
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,007	0,009	0,005	0,007	0,009
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0,62	0,63	0,57	0,57	0,61
NITROGENO AMONICAL (NH ₃ -N)	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	5,00	1,00	2,00	4,00	1,00
FLUORUROS (F)	mg/L	0,85	0,46	0,38	0,78	0,48
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0,27	0,45	0,28	0,35	0,52
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0,038	0,044	0,088	0,07	0,0723
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,006	0,006	0,005	0,008	0,008
COBRE (Cu)	mg/L	0,04	0,02	0,04	0,08	0,08
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	46,00	100,00	90,00	46,00	46,00
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0,007	0,009	0,009	0,009	0,009
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	0,85	0,86	0,76	3,89	3,89
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,006	0,008	0,007	0,004	0,004
COBALTO (Co)	mg/L	0,008	0,008	0,007	0,009	0,009
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	0,25	0,34	0,29	0,34	0,22

BROMO (Br)	mg/L	2,13	0,02	0,05	2,08	2,67
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	0,36	0,73	0,59	0,45	0,27
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,009	0,008	0,009	0,008	0,008
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L	20,00	18,00	21,00	17,00	15,00
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	24	40	32	50	14
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	4	16	8	2	8

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: Dpto. Crontrol de Calidad E.P-EMAPA-G

Tabla 7-2. Análisis Físico - Químico y Bacteriológico-Entrada Agua en la Planta de Tratamiento Chaquishca mes de Abril

PARAMETROS	UNIDAD	ABRIL				
		06-abr	08-abr	13-abr	16-abr	28-abr
COLOR	UTC	1,00	1,00	80,00	1,00	1,00
TURBIEDAD	NTU	0,51	0,67	247,05	0,35	0,40
Ph	.....	6,79	7,15	7,08	7,25	7,37
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	88,30	98,64	200,89	204,97	180,60
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	42,80	40,27	120,08	128,64	110,64
TEMPERATURA	° C	17,40	13,07	17,54	18,24	17,97
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	1,00	1,16	4,27	1,18	0,98
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,004	0,008	0,007	0,006	0,008
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0,60	0,67	0,62	0,54	0,79
NITROGENO AMONIACAL (NH ₃ -N)	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	1,00	1,00	5,00	1,00	2,00
FLUORUROS (F)	mg/L	0,36	0,43	0,85	0,38	0,42
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0,24	0,53	0,62	0,47	0,53
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0,032	0,046	0,047	0,041	0,047
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,006	0,006	0,007	0,006	0,008
COBRE (Cu)	mg/L	0,003	0,00	0,07	0,02	0,02
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	84,00	96,00	54,00	42,00	48,00
ALUMINIO (Al ⁺)	mg/L	0,008	0,008	0,009	0,007	0,009
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	0,78	0,82	4,28	0,42	0,58
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,006	0,006	0,008	0,007	0,008
COBALTO (Co)	mg/L	0,007	0,007	0,006	0,008	0,007
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	0,22	0,26	0,24	0,34	0,28
BROMO (Br)	mg/L	2,12	0,06	0,04	0,07	2,16
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	0,30	0,52	0,60	0,54	0,29
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,009	0,008	0,007	0,008	0,008
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L	17,00	36,00	28,00	32,00	16,00
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 MI	16	22	28	10	48
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	4	10	6	4	16

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: Dpto. Crontrol de Calidad E.P-EMAPA-G

CAPITULO III

3 CALCULOS Y RESULTADOS

3.1 OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN

3.1.1 AIREACIÓN

En la planta de tratamiento de agua potable Chaquishca de la E.P-EMAPA-G, se optimizará el proceso de aireación ya que nos permitirá mejorar la calidad del agua para ello es necesario realizar los siguientes cálculos para tratar un caudal de 150 L/s, el mismo que se utilizara para la oxidación de hierro y manganeso, eliminación de sulfuro de hidrogeno y dióxido de carbono y oxigenación del agua, mejorando el tratamiento del proceso.

Tabla 1-3. Consideraciones actuales

CONSIDERACIONES ACTUALES	
Área actual total de la torre de aireación	52m ²
Numero de torres	12
Numero de bandejas en total	72
Caudal actual	150 L/s
Caudal que ingresa a cada torre	8.42 L/s
Área de cada bandeja	1 m ²
Diámetro de la tubería que alimenta a cada torre	63 mm
Separación entre bandejas: Sb	0.20 m

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente:Dpto.Crontol de Calidad E.P-EMAPA-G

❖ *Calculo del número de torres requeridas:*

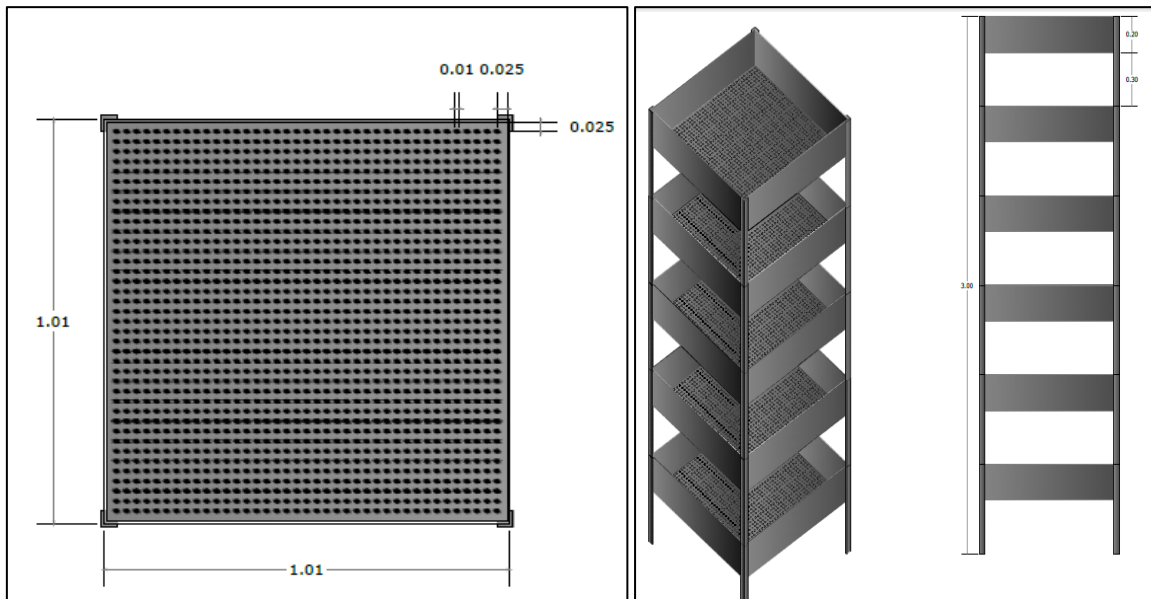


Figura 1-3. Dimensiones de las bandejas para el aireador
Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Para determinar el número de torres se utiliza la Ec.1-1

$$N_t = \frac{Q_D}{Q_t}$$

Datos:

N_t =número de torres

Q_D = caudal de diseño 150 L/s

Q_t = caudal que ingresa a la torre 8.4 L/s

$$N_t = \frac{150}{8.42}$$

$$N_t = 17.81 \approx 18$$

Para la optimización se requiere de 18 torres de aireación con 6 bandejas en cada torre, dando un total de 108 bandejas. De acuerdo a este resultado y después de haber identificado las variables de los sistemas que forman parte del tratamiento para la potabilización del agua basada en la necesidad de distribuir agua a la comunidad con los más altos estándares de calidad establecidos en la norma, se establece implementar 6 bandejas en cada una de las torres de aireación logrando así resultados con un alto valor de confiabilidad del proceso.

❖ *Tiempo de exposición (t):*

Mediante la Ec. 2-1 determinamos el tiempo de exposición del agua en cada una de las bandejas:

$$t = \sqrt{\frac{2 * H * n}{g}}$$

Dónde:

t: Tiempo de exposición (s)

H: altura total de la torres (3 m)

n: número de bandejas (108)

g: Gravedad (9.8 m/s²)

$$t = \sqrt{\frac{2 * 3 * 108}{9.8}}$$

$$t = 8.13 \text{ s}$$

3.1.2 COAGULACIÓN

En el estudio que se realizó para el proceso de coagulación, se identificó una deficiencia en la dosificación del Policloruro de aluminio (PAC), de acuerdo al análisis y a las pruebas pertinentes que se realizó en el agua tanto a la entrada como salida se establece una nueva dosificación y concentración para mejorar las características del agua que presenta actualmente.

3.1.2.1 CALCULO DE LA DOSIFICACIÓN DEL PAC

Mediante una relación se calcula el aforo de la solución PAC, esto indica si se realiza una dilución o no de este químico.

Datos:

P₁: Cantidad inicial de PAC: 25 kg

C₁: Concentración inicial de PAC: 0.02

C₂: Concentración de PAC requerido: 0.005

P₂: cantidad de PAC requerido: kg

$$P_2 = \frac{P_1 * C_2}{C_1}$$

$$P_2 = \frac{25 * 0.005}{0.02} = 6.25$$

❖ **Calculo del volumen de agua requerido.**

$$V_2 = \frac{P_2 * V_1}{P_1}$$

Datos:

P₁: Cantidad inicial de PAC: 25 kg

V₁: Volumen de dilución inicial: 200 L

P₂: cantidad de PAC requerido: 6.25 kg

$$V_2 = \frac{6.25 * 200}{25} = 50.00$$

❖ **Concentración de la solución**

$$C_{Solucion} = \frac{P_2}{V_2}$$

Datos:

V₂: Volumen de dilución requerido:

P₂: cantidad de PAC requerido:

$$C_{Solucion} = \frac{6250}{50.00} = 125$$

❖ **Caudal de dosificación**

$$Q_{Dosificacion} = \frac{C_{PAC}}{C_{Solucion}} * Q_{Diseño}$$

Datos:

C_{PAC}= concentración de PAC: 0.005

C_{Solucion} = concentración de la solución: 125 kg

Q_{Diseño} = Caudal de diseño: 540 m³/h

$$Q_{Dosificacion} = \frac{0.005}{125} * 540 = 0.02$$

Mediante la transformación de m³/h a ml/min se determina el volumen de la solución PAC.

$$0.02 \frac{m^3}{h} * \frac{1000 L}{1m^3} * \frac{1000 ml}{1L} * \frac{1 h}{60 min} = 333.33 ml/min$$

$$333.33 \frac{ml}{min} * \frac{60 min}{1h} * \frac{24 h}{1 día} * \frac{1L}{1000 ml} = 480 L/día$$

❖ **Kilogramos necesarios de Policloruro de Aluminio al día.**

Una vez determinada la cantidad de la solución de Policloruro de aluminio al 0.005% necesaria para la dosificación, debemos determinar la cantidad en kilogramos necesaria de Policloruro de aluminio al día.

$$480 \frac{LPAC\ 0,005\%}{día} * \frac{0,025\ grPAC}{1\ LPAC\ 0,005\%} * \frac{1\ KgPAC}{1000\ grPAC} = 0.012\ KgPAC/día$$

3.1.3 SEDIMENTADOR

Para optimizar el sedimentador se deberá sustituir las placas planas que se encuentran actualmente en el sedimentador debido a que ya han cumplido con el tiempo de vida establecido para ello se determinará el número de placas para ampliar la decantación y se los realizará a partir de los siguientes cálculos.

❖ **Calculo para la determinación del nuevo número de placas en el sedimentador**

Actualmente la planta trabaja con un sedimentador de flujo horizontal las dimensiones del sedimentador son: 15 metros de largo ,5 metros de ancho y 4 metros de profundidad para lo cual se implementará placas planas de 1.20 m x 2.4 m x 0.01 m con un ángulo de inclinación de 60° y una separación entre placas de 0.06 m y de 0.01 m de espesor.

❖ **Calculo de la carga superficial actual de un sedimentador convencional**

Se utiliza la Ec.8-1 para determinar la carga superficial del sedimentador:

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

Dónde:

C_s= Carga superficial (m/m² d).

Q= Caudal= 12960 m³/d

A= Área superficial=15 m².

$$CS = \frac{12960}{15 * 5}$$

$$CS = 172.8 \frac{m}{dia}$$

Determinación del área de sedimentación de acuerdo con la ecuación de la velocidad crítica de sedimentación Ec.4-1:

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

Dónde:

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

S_c = 1.0 para sedimentadores de placas paralelas

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

L = Longitud relativa efectiva de sedimentación en flujo laminar.

θ = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación.

❖ La velocidad promedio de flujo en el sedimentador es:

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

Entonces:

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

Datos

$$\theta = 60^\circ$$

$$S = 1$$

$$d = 6 \text{ cm}$$

❖ Se determina la Longitud relativa Ec.5-1:

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

$$L = \frac{120}{6}$$

$$L = 20$$

$$A = \frac{1 * 12960}{172.8 \text{ sen } 60 (\text{sen } 60 + 20 \cos 60)}$$

$$A = 8 \text{ m}^2$$

Como el ancho del sedimentador es de 5 m, para dos filas de placas de 2.40 m de longitud la longitud acelerada en el sedimentador es:

$$l_s = \frac{8}{2.4 \times 2} = 1.66 \text{ m}$$

3.1.3.1 Número de placas N :

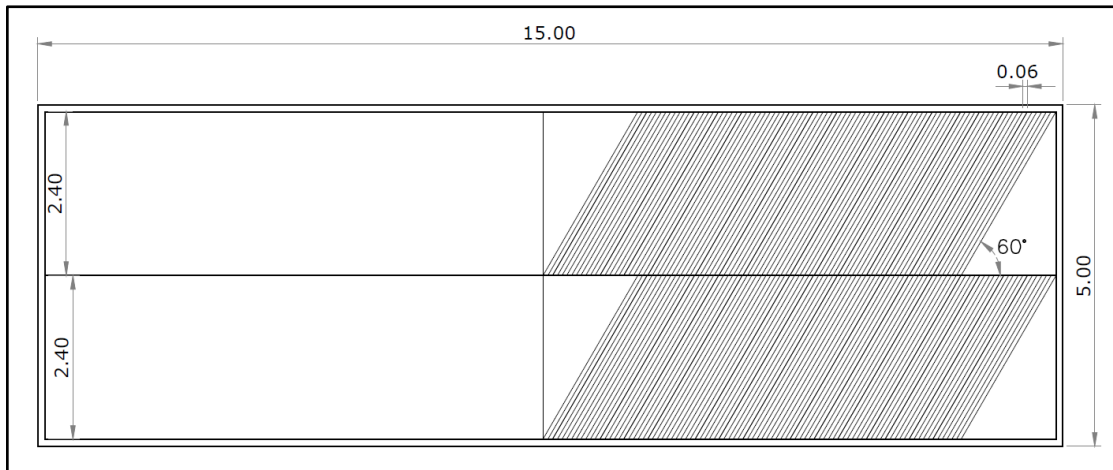


Figura 2-3. Diseño de las placas de asbesto-cemento.

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

La recomendación por la empresa de agua E.P-EMAPA-G 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 Ec.11-1 la que determine el número de placas planas.

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

$$N = \frac{7.5 \operatorname{sen} 60 + 0.06}{0.06 + 0.01}$$

$$N = 93.64 \text{ placas por fila de } 2.4 \text{ m}$$

$$N = 93.64 \cong 94$$

Como en el sedimentador caben 2 filas se tiene:

$$N = 94 * 2 = 188 \text{ placas por fila de } 2.4 \text{ m}$$

Para la zona de sedimentación

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

$$v_0 = \frac{12960}{8 * 7.5 \operatorname{sen} 60}$$

$$v_0 = 249.4 \frac{\text{m}}{\text{d}} = 0.17 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Determinación del Número de Reynolds con la Ec.8-1 a una T15 °C y viscosidad de $1.39 \cdot 10^{-6}$ del agua.

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

Dónde:

v_o =velocidad promedio de flujo del sedimentador

d = ancho del sedimentador

ν = viscosidad cinemática

$$N_{RE} = \frac{249.4 * 0.05}{86.400 * 1.139 * 10^{-6}} = 127$$

El tiempo de retención en el sedimentador con la Ec.9-1:

$$t = \frac{l}{v_o} = \text{min}$$

$$t = \frac{1.20}{0.17} = 7 \text{ min}$$

Carga superficial para el área de sedimentación:

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

$$CS = \frac{12960}{5 * 7.5}$$

$$CS = 345.6 \frac{m}{d}$$

Dónde:

Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

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

$$T = \frac{15 * 5 * 4 * 24 * 60}{12960} = 33.3 \text{ minutos}$$

Verificación del diseño:

Se calcula la longitud relativa para la región de transición

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

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

$$L' = 0.013 (127)$$

$$L' = 1.65$$

Con el factor de seguridad se calcula:

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

$$L_C = 20 - 1.65$$

$$L_C = 18.35$$

Remplazamos en la ecuación:

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

$$v_{sc} = \frac{1 * 249.4}{\text{sen } 60 + 18.35 \cos 60}$$

$$v_{sc} = 25.3 \frac{m}{\text{dia}}$$

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

3.1.4 DESINFECCIÓN

En el proceso de desinfección es necesario realizar los siguientes cálculos:

❖ Cantidad de cloro gas a utilizar:

$$\text{cantidad de cloro gas} = 0.012 * Q * C$$

Datos:

$$Q = 2380.95 \text{ gpm}$$

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

❖ Cantidad de HTH a utilizar en un día:

$$\text{cantidad de HTH} = 0.012 * Q * C$$

$$\text{cantidad de HTH} = \frac{0.012 * 2380.95 * 1.5}{2}$$

$$\text{cantidad de HTH} = \frac{21.42 \text{ lb}}{\text{día}} \approx 9736.36 \frac{\text{g}}{\text{día}}$$

❖ Volumen de HTH

Para la determinación del agua necesaria para diluir el Hipoclorito cálcico se utiliza la relación de la densidad:

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

Despejando el volumen tenemos:

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

Datos:

m : 9736.36 g/día

ρ : 800 g/L

Agua: % en peso 8.5 %

Cloro disponible: 65%

$$V = \frac{9736.36}{800}$$

$$V = 12.170 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

❖ Volumen de HTH (65%)

$$V_1 = 12.170 * \frac{65\%}{8.5\%}$$

$$V_1 = 93.064 \text{ L}$$

❖ Volumen de agua para diluir la solución madre

$$V_1 C_1 = V_2 C_2$$

$$V_2 = \frac{93.064 * 1.5}{0.65}$$

$$V_2 = 214.76 \text{ L}$$

❖ Volumen total de la solución:

$$VT = V_1 + V_2$$

$$VT = 93.064 + 214.76$$

$$VT = 307.83 L$$

Mediante la transformación de L/día a ml/min se determina el volumen de la solución de HTH.

$$307.83 \frac{L}{Dia} * \frac{1000 ml}{1L} * \frac{1Dia}{24 h} * \frac{1 h}{60 min} = \mathbf{213.77 ml/min}$$

3.2 RESULTADOS

3.2.1 Resultados de la Optimización de los Procesos de Potabilización

AIREACIÓN

Tabla 2-3. Resultado del proceso de aireación

Condiciones actuales del proceso				Condiciones de optimización del proceso	
PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES	VALOR	UNIDADES
Área total	At	52	m ²	52	m ²
Altura total	H _T	3	M	3	m
Área de cada bandeja	A _b	1	m ²	1	m ²
Número de bandejas	N _b	72	Unidades	108	Unidades
Número de torres	N _t	12	Torres	18	Torres
Tiempo de exposición	T	8.13	S	8.13	s

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

De acuerdo a la situación actual que tiene el sistema de aireación, la deficiencia de este sistema y en la necesidad de optimizar la operación del mismo, de acuerdo a los resultados expresados en la tabla 2-3 las características que requieren ser mejoradas, en relación al costo de optimización nos demuestra la factibilidad de poner en marcha estos cambios que permitirán mejorar la eficiencia del sistema como del proceso.

SEDIMENTADOR

Tabla 3-3. Determinación de Número de placas

Sedimentador	Número actual de placas en el sedimentador	Número de placas propuestas
1	85	188

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Tabla 4-3. RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICO QUIMICO Y BACTERIOLÓGICO DEL AGUA-MES DE FEBRERO

RESULTADOS ANALISIS FÍSICO-QUÍMICO Y BACTERIOLOGICO ENTRADA AGUA CRUDA AL SISTEMA CHAQUISHCA						
PARAMETROS	UNIDAD	FEBRERO				
		16-feb	18-feb	20-feb	24-feb	26-feb
COLOR	UTC	1,00	1,00	1,00	15,00	10,00
TURBIEDAD	NTU	0,49	0,35	0,54	30,16	24,93
Ph	.....	7,54	6,98	7,12	7,09	6,57
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	464,00	420,67	201,65	133,4	452,96
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	225,00	220,08	106,58	63,50	220,64
TEMPERATURA	° C	18,80	18,54	14,56	15,46	18,74
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	3,20	2,68	1,20	1,80	2,96
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,005	0,007	0,005	0,006	0,008
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0,65	0,59	0,84	0,68	0,78
NITROGENO AMONIACAL (NH ₃ -N)	mg/L	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	4,00	1,00	4,00	1,00	3,00
FLUORUROS (F)	mg/L	0,46	0,43	0,50	0,42	0,64
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0,23	0,14	0,27	0,31	0,24
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0,024	0,057	0,042	0,048	0,054
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,010	0,009	0,009	0,006	0,007
COBRE (Cu)	mg/L	0,03	0,05	0,05	0,05	0,03
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	62,00	58,00	58,00	40,00	54,00
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0,006	0,008	0,008	0,008	0,008
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	6,60	4,82	4,82	0,86	0,64
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,009	0,006	0,006	0,008	0,009
COBALTO (Co)	mg/L	0,005	0,008	0,008	0,009	0,009
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	0,23	0,18	0,27	0,20	0,17
BROMO (Br)	mg/L	0,03	2,45	0,06	2,85	1,92
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	0,65	0,30	0,42	0,34	0,26
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,009	0,009	0,008	0,009	0,009
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L	36,00	10,00	26,00	10,00	13,00
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 MI	42	68	50	20	30
COLIFORMES FECALES	NMP/100 MI	24	30	10	4	6

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Tabla 5-3. RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICO QUIMICO Y BACTERIOLÓGICO DEL AGUA- MES DE MARZO

PARAMETROS	UNIDAD	MARZO				
		02-mar	05-mar	09-mar	11-mar	23-mar
COLOR	UTC	40,00	1,00	1,00	1,00	25,00
TURBIEDAD	NTU	70,42	0,60	0,75	0,56	50,68
pH	.....	7,18	7,02	7,46	7,36	6,89
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	425,89	102,68	94,62	405,87	208,52
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	220,96	39,86	40,29	218,42	110,68
TEMPERATURA	° C	17,54	13,98	13,57	17,90	14,97
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	4,27	0,98	0,92	3,45	0,98
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,007	0,009	0,005	0,007	0,009
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0,62	0,63	0,57	0,57	0,61
NITROGENO AMONIACAL (NH ₃ -N)	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	5,00	1,00	2,00	4,00	1,00
FLUORUROS (F)	mg/L	0,85	0,46	0,38	0,78	0,48
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0,27	0,45	0,28	0,35	0,52
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0,038	0,044	0,088	0,07	0,0723
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,006	0,006	0,005	0,008	0,008
COBRE (Cu)	mg/L	0,04	0,02	0,04	0,08	0,08
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	46,00	100,00	90,00	46,00	46,00
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0,007	0,009	0,009	0,009	0,009
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	0,85	0,86	0,76	3,89	3,89
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,006	0,008	0,007	0,004	0,004
COBALTO (Co)	mg/L	0,008	0,008	0,007	0,009	0,009
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	0,25	0,34	0,29	0,34	0,22
BROMO (Br)	mg/L	2,13	0,02	0,05	2,08	2,67
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	0,36	0,73	0,59	0,45	0,27
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,009	0,008	0,009	0,008	0,008
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L	20,00	18,00	21,00	17,00	15,00
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	24	40	32	50	14
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	4	16	8	2	8

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Tabla 6-3. RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICO QUIMICO Y BACTERIOLÓGICO DEL AGUA - MES DE ABRIL

PARAMETROS	UNIDAD	ABRIL				
		06-abr	08-abr	13-abr	16-abr	28-abr
COLOR	UTC	1,00	1,00	80,00	1,00	1,00
TURBIEDAD	NTU	0,51	0,67	247,05	0,35	0,40
pH	.....	6,79	7,15	7,08	7,25	7,37
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	88,30	98,64	200,89	204,97	180,60
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	42,80	40,27	120,08	128,64	110,64
TEMPERATURA	° C	17,40	13,07	17,54	18,24	17,97
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	1,00	1,16	4,27	1,18	0,98
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,004	0,008	0,007	0,006	0,008
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0,60	0,67	0,62	0,54	0,79
NITROGENO AMONIACAL (NH ₃ -N)	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	1,00	1,00	5,00	1,00	2,00
FLUORUROS (F)	mg/L	0,36	0,43	0,85	0,38	0,42
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0,24	0,53	0,62	0,47	0,53
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0,032	0,046	0,047	0,041	0,047
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,006	0,006	0,007	0,006	0,008
COBRE (Cu)	mg/L	0,003	0,00	0,07	0,02	0,02
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	84,00	96,00	54,00	42,00	48,00
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0,008	0,008	0,009	0,007	0,009
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	0,78	0,82	4,28	0,42	0,58
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,006	0,006	0,008	0,007	0,008
COBALTO (Co)	mg/L	0,007	0,007	0,006	0,008	0,007
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	0,22	0,26	0,24	0,34	0,28
BROMO (Br)	mg/L	2,12	0,06	0,04	0,07	2,16
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	0,30	0,52	0,60	0,54	0,29
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,009	0,008	0,007	0,008	0,008
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L	17,00	36,00	28,00	32,00	16,00
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	16	22	28	10	48
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	4	10	6	4	16

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Tabla 7-3. Tabla de resultados de la prueba de jarras efectuadas a la muestra que presentaron variación en la calidad del agua una turbiedad 30.16 NTU.

TURBIEDAD 30.16 NTU, rpm 200, (pHo= 7.04, pHf= 7.90), tiempo agitación 45							
Conc. Cal	Conc. Sulfato	Dosis PAC (mL)	Dosis Cal (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,20	0,01	2,50	1,25	12,06	5,43	7,54	75,00
0,20	0,01	5,00	2,50	15,38	7,23	9,05	70,00
0,20	0,01	7,50	3,75	19,00	9,31	10,56	65,00
0,20	0,01	10,00	5,00	22,92	11,69	12,06	60,00
0,20	0,02	2,50	1,25	16,29	8,63	8,14	73,00
0,20	0,02	5,00	2,50	18,37	10,10	8,75	71,00
0,20	0,02	7,50	3,75	20,57	11,72	9,35	69,00
0,20	0,02	10,00	5,00	22,89	13,51	9,95	67,00
0,20	0,03	2,50	1,25	20,27	12,36	8,44	72,00
0,20	0,03	5,00	2,50	22,62	14,25	9,05	70,00
0,20	0,03	7,50	3,75	25,09	16,31	9,65	68,00
0,20	0,03	10,00	5,00	27,69	18,55	10,25	66,00
0,20	0,04	2,50	1,25	34,62	23,89	12,37	59,00
0,20	0,04	5,00	2,50	37,61	26,70	12,97	57,00
0,20	0,04	7,50	3,75	40,72	29,72	13,57	55,00
0,20	0,04	10,00	5,00	43,94	32,96	14,18	53,00

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: Dpto. Control de calidad E.P-EMAPA-G


Tabla 8-3. Tabla de resultados de la prueba de jarras efectuadas a las muestras que presentaron variación en la calidad del agua una turbiedad 247.05 NTU.

TURBIEDAD 247.05 NTU, rpm 200, (pHo= 6.98, pHf= 7.85), tiempo agitación 60min							
ConcFlocu PF-130	Conc sulfato	Dosis PAC (mL)	Dosis Flocu (mL)	Tiempo for. Floc (min)	Tiempo dec. Floc (min)	Turbiedad Final (NTU)	% Remoción
0,20	0,01	20,00	10,00	19,19	16,31	11,63	95,30
0,20	0,01	40,00	20,00	20,79	18,30	12,38	95,00
0,20	0,01	60,00	30,00	22,43	20,41	13,12	94,70
0,20	0,01	80,00	40,00	24,12	22,67	13,86	94,40
0,20	0,02	20,00	10,00	25,85	25,07	14,60	94,10
0,20	0,02	40,00	20,00	27,62	27,62	15,35	93,80
0,20	0,02	60,00	30,00	16,31	16,79	8,91	96,40
0,20	0,02	80,00	40,00	17,49	18,54	9,41	96,20
0,20	0,03	20,00	10,00	18,71	20,39	9,90	96,00
0,20	0,03	40,00	20,00	19,96	22,35	10,40	95,80
0,20	0,03	60,00	30,00	37,16	42,74	19,06	92,30
0,20	0,03	80,00	40,00	39,20	26,66	19,80	92,00
0,20	0,04	20,00	10,00	41,29	28,49	20,54	91,70
0,20	0,04	40,00	20,00	43,42	30,39	21,29	91,40
0,20	0,04	60,00	30,00	45,60	32,37	22,03	91,10
0,20	0,04	80,00	40,00	47,82	34,43	22,77	90,80

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: Dpto. Control de calidad E.P-EMAPA-G


Tabla 9-3.Resultado de la Dosificación de Cloro

 DOSIFICACIÓN CLORO								
VERTEDERO		Caudal (L/s)	Dosi. Clo.gas	Dosi. Clo.HTH	Volumen sin madre (L)	Volumen 2 (L)	Volumen Total (L)	Goteo mL/min
Cm	M		Lb/día	Lb/día				
1	0,01	0,01	0,004	0,002	0,009	0,020	0,029	0,020
2	0,02	0,08	0,02	0,011	0,049	0,113	0,162	0,112
3	0,03	0,22	0,06	0,031	0,135	0,311	0,446	0,310
4	0,04	0,45	0,13	0,06	0,28	0,639	0,92	0,636
5	0,05	0,78	0,22	0,11	0,48	1,12	1,60	1,11
6	0,06	0,69	0,20	0,10	0,43	0,99	1,42	0,99
7	0,07	0,84	0,24	0,12	0,52	1,20	1,71	1,19
8	0,08	0,98	0,28	0,14	0,61	1,40	2,01	1,40
9	0,09	3,40	0,97	0,49	2,10	4,86	6,96	4,83
10	0,10	4,43	1,26	0,63	2,74	6,32	9,06	6,29
11	0,11	5,62	1,60	0,80	3,47	8,02	11,49	7,98
12	0,12	6,98	1,99	1,00	4,32	9,97	14,29	9,92
13	0,13	8,53	2,43	1,22	5,28	12,17	17,45	12,12
14	0,14	10,27	2,93	1,46	6,35	14,65	21,00	14,59
15	0,15	12,20	3,48	1,74	7,54	17,41	24,96	17,33
16	0,16	14,33	4,09	2,04	8,86	20,45	29,32	20,36
17	0,17	16,68	4,76	2,38	10,32	23,81	34,12	23,70
18	0,18	19,24	5,49	2,74	11,90	27,46	39,36	27,33
19	0,19	22,02	6,28	3,14	13,62	31,43	45,05	31,28
20	0,20	25,04	7,14	3,57	15,49	35,74	51,23	35,57
21	0,21	28,29	8,07	4,04	17,50	40,38	57,87	40,19
22	0,22	31,78	9,07	4,53	19,66	45,36	65,01	45,15
23	0,23	35,51	10,13	5,07	21,96	50,68	72,64	50,45
24	0,24	39,50	11,27	5,64	24,43	56,38	80,81	56,12
25	0,25	43,75	12,48	6,24	27,06	62,44	89,50	62,15
26	0,26	48,25	13,77	6,88	29,84	68,87	98,71	68,55
27	0,27	53,03	15,13	7,57	32,80	75,69	108,49	75,34
28	0,28	58,08	16,57	8,29	35,92	82,89	118,81	82,51
29	0,29	63,40	18,09	9,05	39,21	90,49	129,71	90,07
30	0,30	69,03	19,70	9,85	42,69	98,52	141,22	98,07
31	0,31	74,91	21,37	10,69	46,33	106,91	153,24	106,42
32	0,32	81,10	23,14	11,57	50,16	115,74	165,90	115,21
33	0,33	87,58	24,99	12,50	54,17	125,00	179,17	124,42
34	0,34	94,37	26,93	13,46	58,36	134,69	193,05	134,06
35	0,35	101,46	28,95	14,48	62,75	144,81	207,56	144,14
36	0,36	108,86	31,06	15,53	67,33	155,38	222,71	154,66
37	0,37	116,58	33,27	16,63	72,10	166,39	238,50	165,62
38	0,38	124,62	35,56	17,78	77,07	177,86	254,94	177,04
39	0,39	132,98	37,94	18,97	82,25	189,80	272,04	188,92
40	0,40	141,67	40,42	20,21	87,62	202,20	289,82	201,26
41	0,41	150,69	43,00	21,50	93,20	215,07	308,27	214,08
42	0,42	160,04	45,67	22,83	98,98	228,42	327,40	227,36

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Fuente: Dpto. Control de calidad E.P-EMAPA-G

Tabla 10-3. RESULTADO DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA A LA SALIDA

 RESULTADOS (AGUA SALIDA PLANTA VS ENSAYOS)												
PARAMETROS	UNIDAD	LÍMITE PERMISIBLE	24-feb		26-feb		02-mar		23-mar		13-abr	
COLOR	UTC	15	15,00	1,00	10,00	1,00	40,00	1,00	25,00	1,00	80,00	1,00
TURBIEDAD	NTU	5	30,16	0,40	24,93	0,37	70,42	0,52	50,68	0,60	247,05	0,32
Ph	.....	.....	7,09	7,12	6,57	7,08	7,18	7,06	6,89	7,03	7,08	7,04
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	.....	133,4	97,63	452,96	90,37	425,8	96,45	208,5	89,94	200,89	97,53
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	.....	63,50	40,26	220,64	41,67	220,9	38,96	110,6	40,67	120,08	30,64
TEMPERATURA	° C	.....	15,46	14,65	18,74	16,94	17,54	15,62	14,97	13,94	17,54	16,42
NITRATOS (NO ₃ ⁻)	mg/L	50	1,80	0,95	2,96	1,13	4,27	0,96	0,98	1,00	4,27	0,94
NITRITOS (NO ₂ ⁻)	mg/L	0,2	0,006	0,006	0,008	0,006	0,007	0,006	0,009	0,007	0,007	0,007
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	.....	0,68	0,65	0,78	0,58	0,62	0,45	0,61	0,55	0,62	0,54
NITROGENO AMONICAL (NH ₃ -N)	mg/L	.....	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	.....	1,00	1,00	3,00	0,96	5,00	0,68	1,00	1,00	5,00	0,65
FLUORUROS (F)	mg/L	1,5	0,42	0,36	0,64	0,35	0,85	0,42	0,48	0,38	0,85	0,47
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	.....	0,31	0,09	0,24	0,07	0,27	0,05	0,52	0,08	0,62	0,07
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0,4	0,048	0,015	0,054	0,01	0,038	0,016	0,072	0,009	0,047	0,016
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,05	0,006	0,007	0,007	0,007	0,006	0,007	0,008	0,006	0,007	0,008
COBRE (Cu)	mg/L	2	0,05	0,04	0,03	0,02	0,04	0,02	0,08	0,02	0,07	0,05
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	.....	40,00	38,00	54,00	30,00	46,00	38,00	46,00	28,00	54,00	42,00
ALUMINIO (Al ⁺³)	mg/L	.....	0,008	0,007	0,008	0,007	0,007	0,005	0,009	0,008	0,009	0,005
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	.....	0,86	0,85	0,64	0,74	0,85	0,62	3,89	0,72	4,28	0,50
NIQUEL (Ni)	mg/L	0,07	0,008	0,007	0,009	0,008	0,006	0,006	0,004	0,004	0,008	0,005
COBALTO (Co)	mg/L	.....	0,009	0,006	0,009	0,006	0,008	0,007	0,009	0,008	0,006	0,004
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	.....	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10	< 0,10
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	.....	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	0,07	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	0,7	0,20	0,34	0,17	0,18	0,25	0,23	0,22	0,25	0,24	0,36
BROMO (Br)	mg/L	.....	2,85	1,92	1,92	2,45	2,13	2,65	2,67	2,00	0,04	1,06
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	.....	0,34	0,26	0,26	0,22	0,36	0,34	0,27	0,24	0,60	0,38
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,05	0,009	0,009	0,009	0,007	0,009	0,007	0,008	0,009	0,007	0,008
OXIGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L	.....	10,00	7,00	13,00	8,00	20,00	12,00	15,00	10,00	28,00	8,00
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	< 1**	20	< 1**	30	< 1**	24	< 1**	14	< 1**	28	< 1**
COLIFORMES FECALES	NMP/100 MI	.....	4	< 1**	6	< 1**	4	< 1**	8	< 1**	6	< 1**

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

3.3 PROPUESTA

SITUACIÓN ACTUAL



PROPUESTA DE OPTIMIZACION

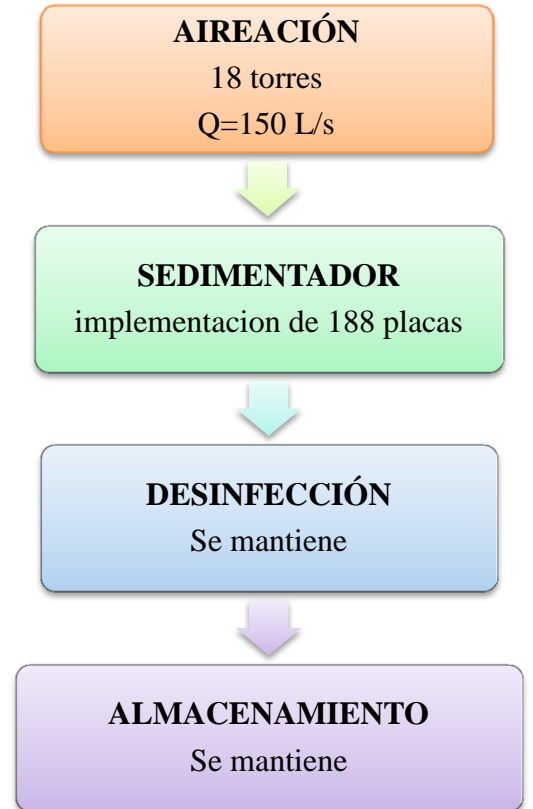


Figura 3-3. Situación Actual y Propuesta de optimización
Realizado por: María E. Sarango G. 2015

PRESUPUESTO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

TABLA 11-3. Análisis de Costos de los equipos

SEDIMENTADOR				
DESCRIPCIÓN	Capacidad /Dimensiones	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
LIMPIEZA Y DESBROCE		10	0,5 /m	10,00
REPLANTEO Y NIVELACION		12	4,50	54,00
PLACAS PLANAS DE ASBESTO-CEMENTO	28,8/ m ²		67,50 /m ²	1944,00
TOTAL				2008,00
TORRE DE AIREACIÓN				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
REPLANTEO Y NIVELACION	m ²	4	3,74	14,96
LAMINA ACERO INOXIDABLE	m ²	6	28,96	350,78
MALLA ELECTROSOLDADA 8-20	m ²	2,25	4,33	9,74
TUBERIA PVC 75MM PERFORADA (MAT/TRANS/INST)	m	2	6,22	12,44
CODO PVC 75MM DESAGUE	U	2	3,23	6,46
TUBERIA PVC 75MM	m	2,5	12,4	31
VALVULA COMPUERTA 03''	U	1	147,79	205,65
TOTAL				631,03

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Tabla 12-3. Costo total de la optimización del proceso de Sedimentación y Aireación

PROCESO	COSTO TOTAL
SEDIMENTADOR DE ALTA TASA	2008,00
TORRE DE AIREACIÓN (6 Torres)	3786,18
TOTAL	5794,18

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Tabla 13-3. Costo del Químico

Químico	Descripción	Presentación	Valor unitario (USD) \$	Valor (USD) \$	Cantidad requerida al día
PAC	Policloruro de Aluminio	25 Kg	0,92	30,00	0,012

Realizado por: María E. Sarango G. 2015

3.4 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La planta de agua potable Chaquishca presenta inconvenientes debido que toda el agua cruda no ingresa en a todos sus procesos, es decir se utiliza variantes y tuberías directas para evitar el desbordamiento del líquido, estos problemas son más evidentes durante la temporada invernal, debido al aumento del caudal existe un desbordamientos del agua a la entrada del procesos de aireación y sedimentación, además se presentan elevadas concentraciones de iones hierro, manganeso, solidos suspendidos y por ende color, por no existir un proceso continuo de potabilización. Por lo tanto, los procesos determinantes para realizar la optimización del sistema de tratamiento de agua potable son la Aireación y Sedimentación.

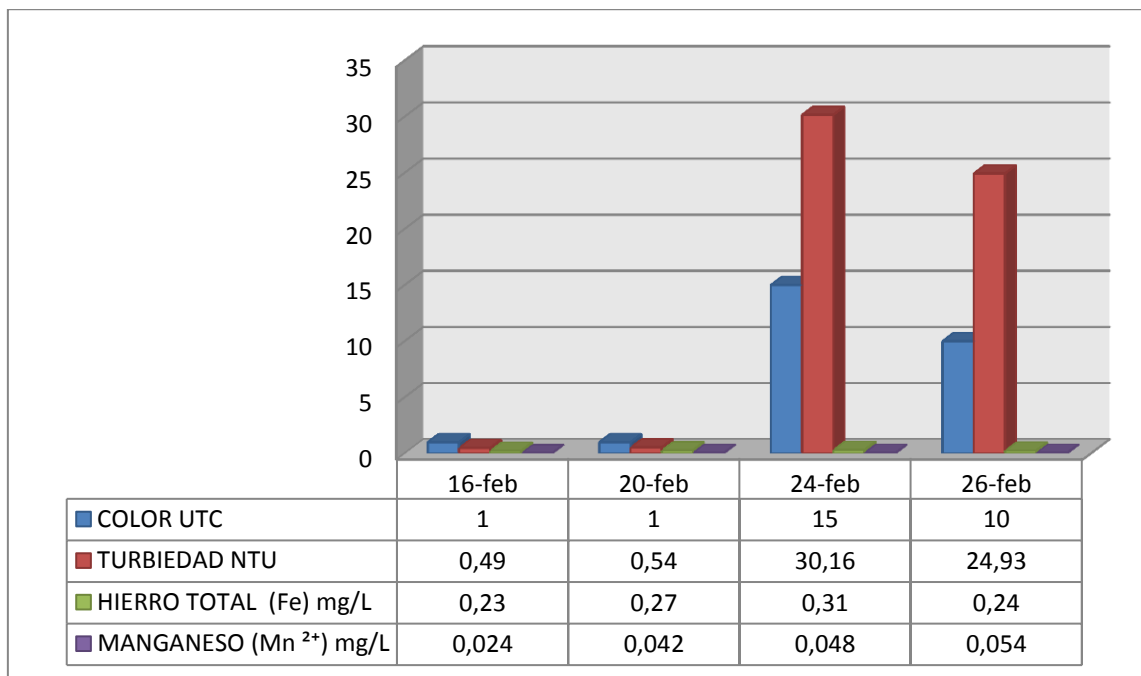
La caracterización primaria físico-químico y microbiológica del agua cruda se realizó durante tres meses: Febrero, Marzo y Abril en donde se refleja que en los días secos tablas 4-3, 5-3 y 6-3, existe presencia de concentraciones de hierro con 0,31 mg/L, turbidez con 30.16 NTU y color con 15 UTC, y en los días de lluvia con valores elevados de hierro con 0,62 mg/L, turbidez con 247.05 NTU y el color con 80 UTC, en estas condiciones los límites permisibles se encuentran fuera de Norma Técnica Obligatoria INEN 1108:2006 Agua Potable, considera como normativa para controlar la calidad dentro de los procesos de potabilización.

Realizando un seguimiento a los análisis realizados del agua simulamos en el laboratorio cada uno de los procesos de la planta potabilizadora como es el proceso de aireación, para lo cual ubicamos un vaso de precipitación con el agua cruda y otro vacío y hacemos pasar el agua de un vaso de precipitación a otro a una cierta altura con el objeto de incorporar aire al agua y oxidar los iones de hierro que puedan ser eliminados en la sedimentación; el proceso de coagulación-floculación-sedimentación mediante el test o prueba de jarras, para la turbiedad mínima de 30.16 NTU (tabla 7-3), empleamos 1.25 ml de Cal a una concentración de 0.20 mg/L y 2.50 ml de Sulfato a una concentración de 0.01 mg/L con un tiempo de floculación de 12,06 min y una reducción de turbiedad a 7.54 NTU, y para la turbiedad máxima de 247.05 NTU (tabla 9-3), para lo cual se empleó 30 ml de Cal a una concentración de 0.20 mg/L y 60 ml de Sulfato a una concentración de 0.02 mg/L con un tiempo de floculación de 16,31 min y una reducción de turbiedad a 8.91 NTU; el proceso de desinfección empleando hipoclorito cálcico HTH a una concentración de 1.5 mg/L.

Después de terminada la simulación, se realizó la caracterización secundaria del agua ya tratada previamente tabla 9-3, obteniendo en las condiciones de verano concentraciones de hierro de 0.09 mg/L, turbidez de 0.40 NTU y color de 1.00 UTC, y en las condiciones de lluvia concentraciones de hierro de 0.07 mg/L, turbidez de 0.32 NTU y color de 1.00 UTC, encontrándose en ambas condiciones dentro de límite máximo permisible por la Norma Técnica INEN 1108: 2006. Agua Potable.

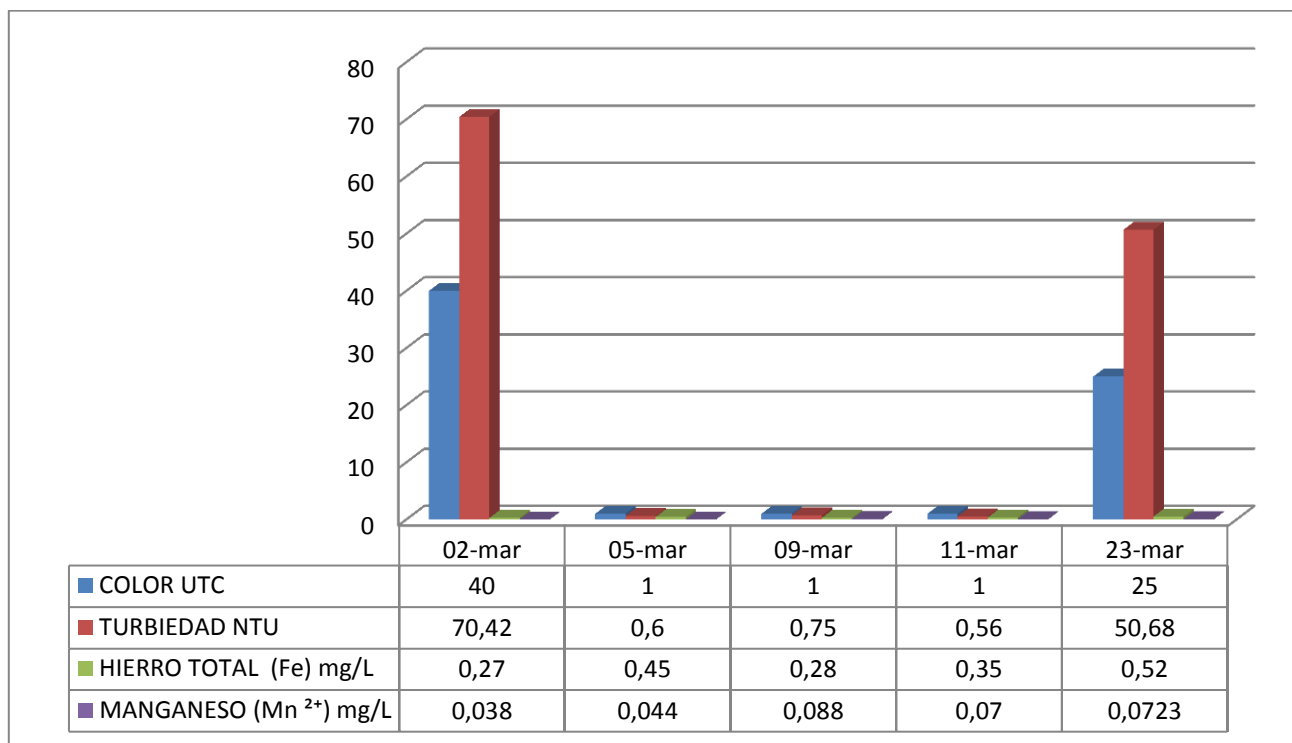
Ya que los procesos de Aireación y Sedimentación son deficientes mediante cálculos de ingeniería se propone 18 torres de aireación de 3 m de altura, 108 bandejas de 1m² cada una, un tiempo de exposición de 8.13 segundos y para el proceso de Sedimentación se propone la implementación de placas en el sedimentador de 5 m de ancho, 4 m de profundidad y 21 m de longitud, con un número de placas de 188 con ángulo de inclinación de 60° y una separación entre placas de 0.06 m y de 0.01 m de espesor.

Gráfico 1-3. Parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos. Mes-FEBRERO



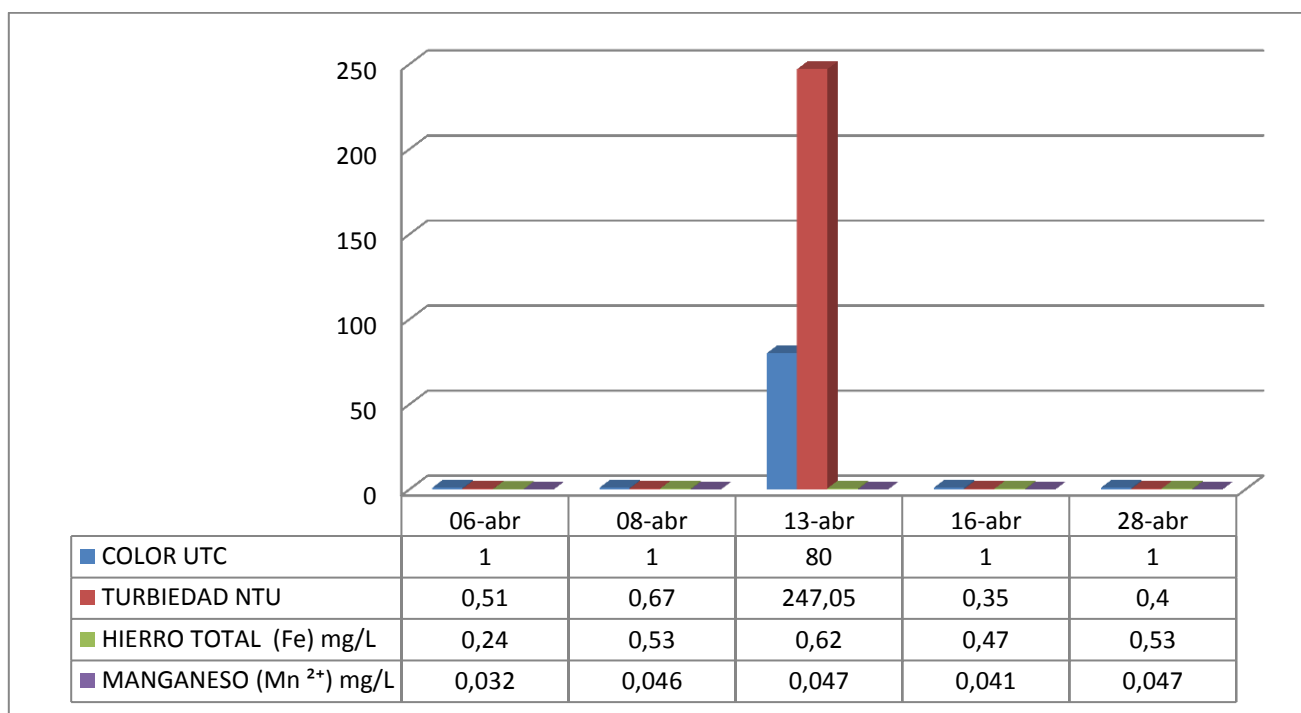
Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Gráfico 2-3. Parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos. Mes-MARZO



Realizado por: María E. Sarango G. 2015.

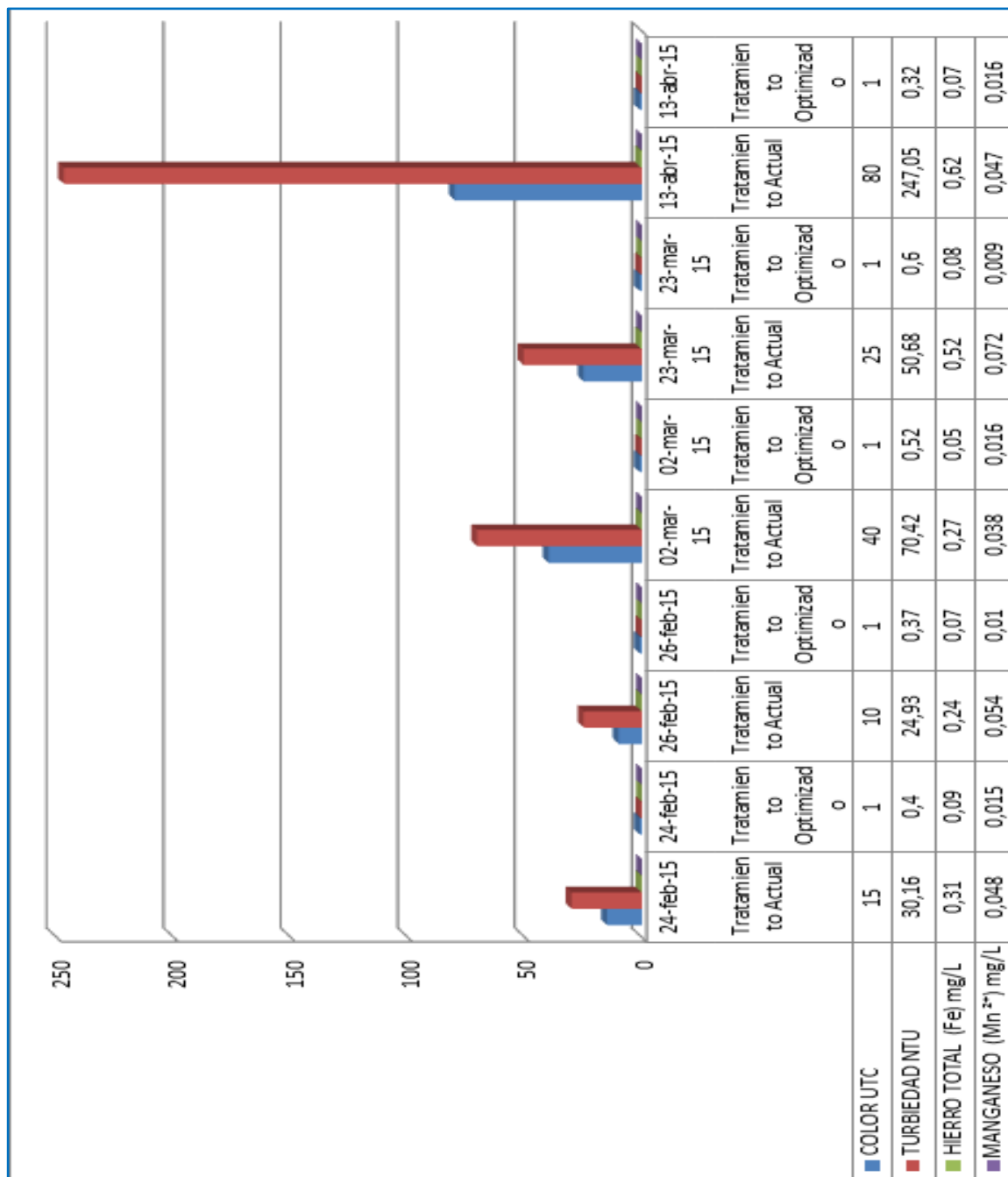
Gráfico 3-3. Parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos. Mes-ABRIL



Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Por lo tanto, los procesos determinantes para realizar la optimización del sistema de tratamiento de agua potable son la Aireación y Sedimentación de acuerdo a la caracterización realizada al agua de la actual planta de potabilización.

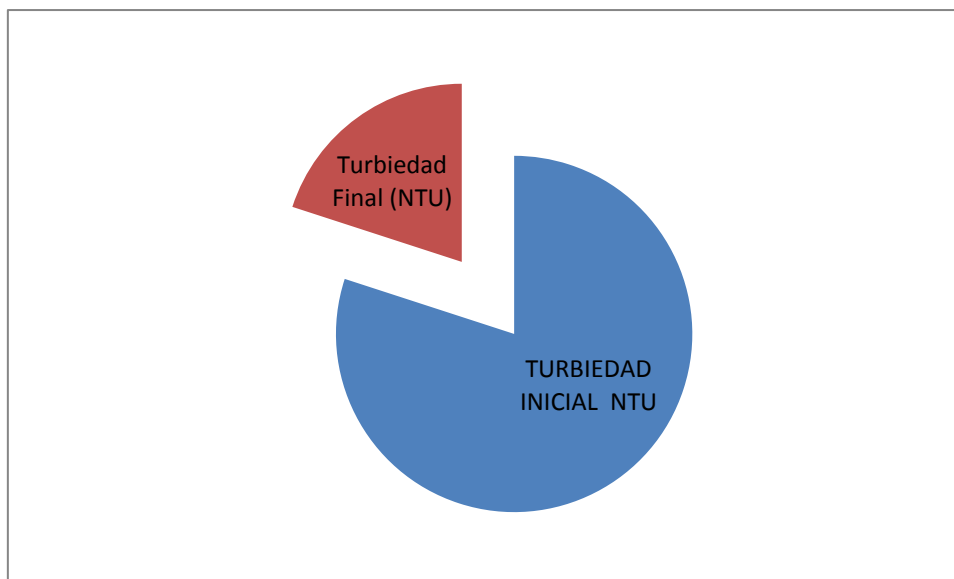
Gráfico 4-3. Parámetros Físico-Químicos fuera y dentro de los Parámetros establecido



Realizado por: María E. Sarango G. 2015

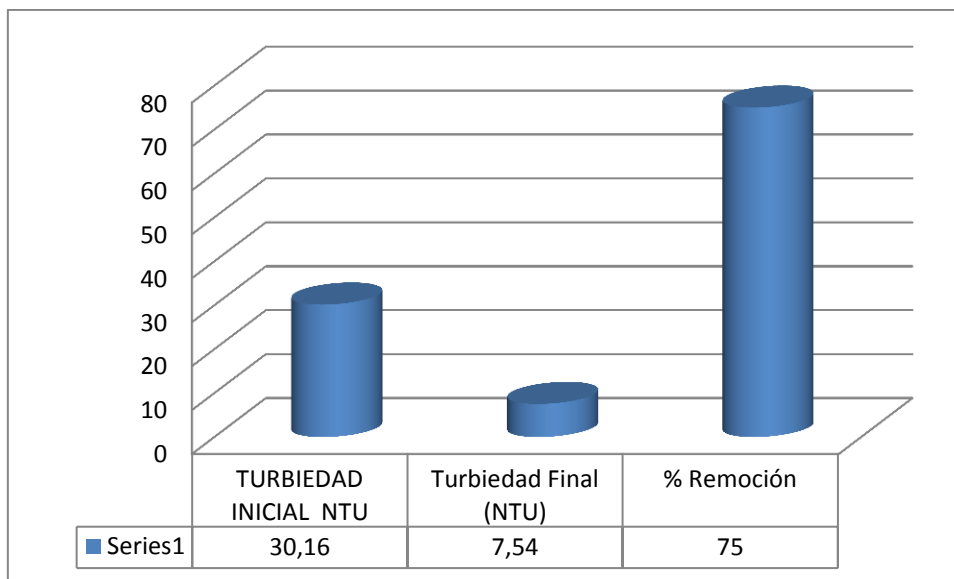
Se puede observar también los porcentajes de remoción obtenidos al optimizar el proceso de potabilización que actualmente está operado y que presenta deficiencias durante el tratamiento.

Gráfico 5-3. TURBIEDAD 30.16 NTU



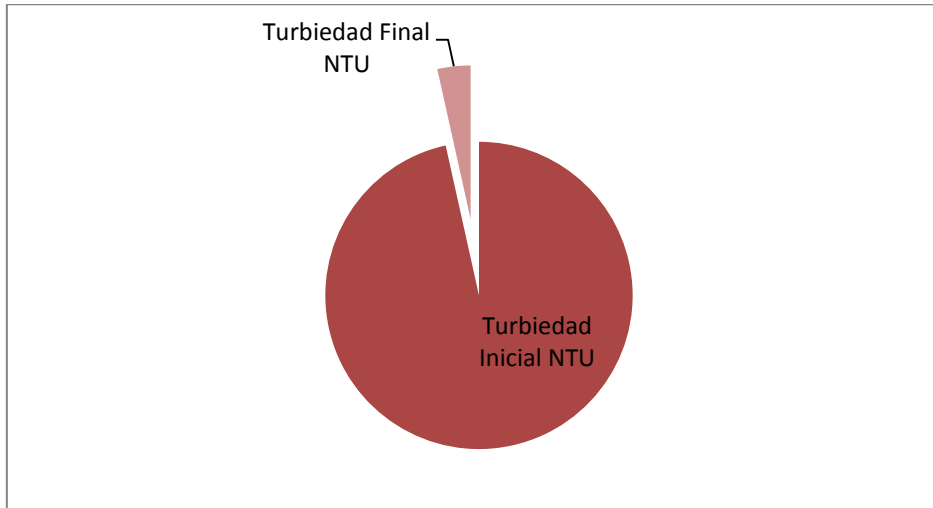
Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Gráfico 6-3. PORCENTAJE DE REMOCIÓN



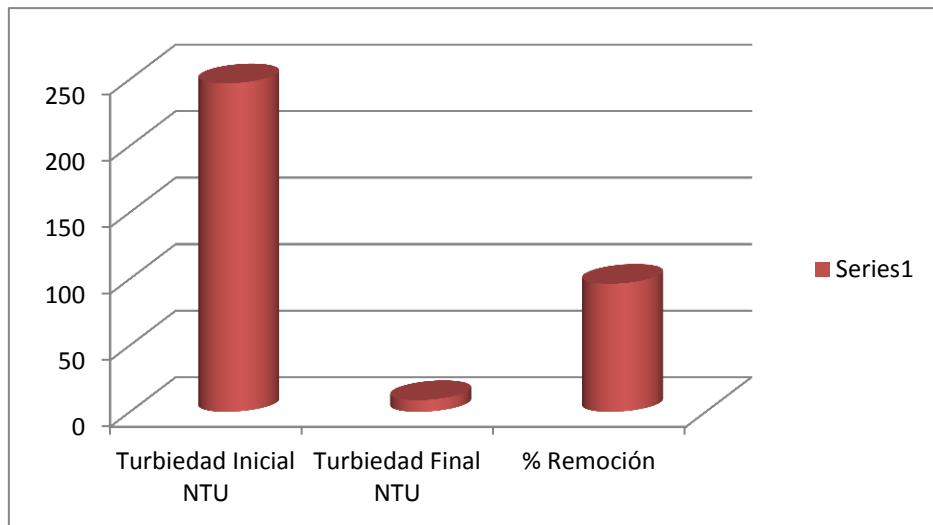
Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Gráfico 7-3. TURBIEDAD 247,05 NTU



Realizado por: María E. Sarango G. 2015

Gráfico 8-3. PORCENTAJE DE REMOCIÓN



Realizado por: María E. Sarango G. 2015

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- ❖ Se optimizó la planta de tratamiento de agua potable Chaquishca de la E.P-EMAPA-G. planteando y mejorando el funcionamiento de los procesos de aireación, coagulación y sedimentación que se llevan a cabo en la planta de tratamiento para la potabilización del agua que se distribuye a la comunidad, para ello se establecieron los estándares de calidad emitidos por la norma ecuatoriana para la calidad de agua siendo una de las metas imprescindibles de la empresa que está a cargo del mejoramiento y calidad del agua en la Provincia de Guaranda.
- ❖ Se evaluó el estado actual de la planta realizando un monitoreo de 5 días por tres meses con el fin de obtener la variación de ciertos parámetros que se encontraron fuera de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006. Agua Potable, donde existe la presencia de concentraciones de hierro con 0,31 mg/L, turbidez con 30.16 NTU y color con 15 UTC en días secos y en los días de lluvia con valores elevados de hierro con 0,62 mg/L, turbidez con 247.05 NTU y el color con 80 UTC.
- ❖ Se realizaron las caracterizaciones físico-químicas y microbiológica en el agua de entrada y salida de la planta potabilizadora, la misma que permitió tomar acciones sobre ciertos puntos del proceso para mejorarlos y tengan un buen funcionamiento, sobre todo en el caso del sedimentador y en la aireación.
- ❖ Se identificó las variables del proceso que se requiere para realizar la Optimización de la Planta de tratamiento de Agua Potable Chaquishca en donde es necesario la implementación de bandejas y placas en los procesos de sedimentación y aireación para garantizar que todo el proceso de potabilización sedé, de la mejor manera posible proporcionando un agua de calidad.
- ❖ Se planteó alternativas que mejoren las características de agua, para que así los parámetros de calidad se posicionen dentro de la norma establecida, a través de la dosificación correcta de PAC mediante prueba de test de jarras, observando que una vez dosificado el químico los valores de turbiedad se encuentran dentro de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006. Agua Potable, al igual que los demás parámetros como se evidencia en la tabla 10-3.

- ❖ Se validó el sistema de tratamiento propuesto mediante la caracterización final del agua a la salida de los tanques de almacenamiento refleja y asegura el proceso de optimización para la obtención de agua potable de alta calidad para la población, en donde los parámetros que están fuera de norma como: turbiedad, manganeso, color, hierro cumplen con los límites permisibles de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006. Agua Potable.

RECOMENDACIONES

- ✓ Aplicar el estudio realizado para mejorar el sistema de tratamiento implementando los procesos de aireación y sedimentación para mejorar la calidad del agua potable a la población de la ciudad de Guaranda.
- ✓ Se recomienda aplicar los manuales de procedimientos ajustado a las necesidades y propiedades del sedimentador de la planta de tratamiento de agua potable Chaquishca de la E.P-EMAPA-G. De esta manera la optimización junto con los manuales deberá formar un conjunto sólido que lleve a la conservación y prolongación de la buena calidad del agua. anexo VI, VII.
- ✓ Realizar el mantenimiento continuamente de la planta de tratamiento para determinar el correcto funcionamiento de sus procesos, como creando bitácoras con informes diarios de registro sobre la operación de la planta de tratamiento.
- ✓ Realizar un plan de prevención y contingencia por eventualidades climáticas.
- ✓ Realizar capacitaciones al operario para que pueda llevar un control de la calidad de agua captada y tratada.

BIBLIOGRAFÍA

APHA, AWWA, WPCF: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales; 17 Edición; Madrid – España; Días de Santos;1992; Pp 95 – 110.

IDROVO: Agua para Consumo Humano: Diseño, Construcción, Operación, Mantenimiento y Evaluación de Sistemas de Agua Potable; Cuenca –Ecuador; Camaren; 1999; Pp 28-93.

ROMERO Jairo; Purificación del Agua; Segunda Edición; Bogotá – Colombia;Escuela Colombiana de Ingeniería; 2006; Pp 53-137.

POLICLORURO DE ALUMINIO.[En línea]. [Consulta: 20 mayo2015]. Disponible en: www.policlorurodealuminio.com/policloruro-de-aluminio.htmlFecha de consulta: 2015-06-28

Azevedo N., J. M. y Acosta A., G. Manual de Hidráulica. Sexta edición. Harla, S. A. de C. V. México, 1976. Sotelo A., G., Hidráulica general. Volumen I, Editorial LIMUSA S.A. Sexta edición, México, 1982

ECUADOR; CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. CPE INEN 005 parte 9-2.: NORMAS PARA DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES; Quito - Ecuador; 1992; Pp: 10-50

CEPIS; Ing. Lidia Cánepa de Vargas; "Tratamiento de Agua para Consumo Humano", Plantas de Filtración Rápida, Manual I; CEPIS; Lima, 2004

CEPIS; “Programa Regional HPE/OPS/CEPIS de Mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano” - Plantas modulares para tratamiento de agua; Segunda edición; Lima, 1990.

AGUA POTABLE

URL:<http://www.definicionabc.com/medio-ambiente/agua-potable.php>

Fecha de consulta: 2015-08-17

ANTECEDENTES EMAPA-GUARANDA

URL: <http://www.emapag.gob.ec/1/EPEMAPAG/Rese%C3%B1aHist%C3%B3rica.aspx>

Fecha de consulta: 2015-06-25

CALIDAD DEL AGUA

URL: http://www.elaguapotable.com/calidad_del_agua.htm

Fecha de consulta: 2015-07-29

CAPTACIÓN

URL: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH24.pdf>

Fecha de consulta: 2015-07-29

CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

URL: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/170AgSub.htm>

Fecha de consulta: 2015-08-17

FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUAS

URL: http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/agua_potable/agua_potable4.pdf

Fecha de consulta: 2015-07-29

FUENTES DE ABASTECIMIENTO

URL: http://www.atsdr.cdc.gov/es/general/agua/es_groundwater2.html

Fecha de consulta: 2015-08-17

IMPORTANCIA DEL AGUA-DEFINICIÓN, VENTAJAS Y BENEFICIOS

URL: <http://importancia.de/agua/#ixzz3fnKPNcZC>

Fecha de consulta: 2015-07-29

ANEXO I
NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1 108:2006

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

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable.

AL 01.06-401

CDU: 644.61

CIU: 4200

ICS: 13.060.20

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2006 SEGUNDA
REVISIÓN AGUA POTABLE. REQUISITOS**

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.

2. ALCANCE

2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

3. DEFINICIONES

3.1 *Agua potable*. Es el agua cuyas características físicas, químicas, microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

3.2 *Agua cruda*. Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.

3.3 Límite máximo permitido. Límite máximo permisible. Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano.

3.4 *UFC/ml*. Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.

3.5 *NMP*. Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los tubos múltiples.

3.6 *mg/l*. (miligramos por litro). Unidades de concentración de parámetros físico químicos.

3.7 *mg/l*. (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

3.8 *Microorganismo patógeno*. Son los causantes de enfermedades para el ser humano.

- 3.9 Plaguicidas.** Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repelar o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nematodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.
- 3.10 Desinfección.** Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.
- 3.11 Subproductos de desinfección.** Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.
- 3.12 Radio nucleido.** Nucleidos radiactivos; nucleidos: conjunto de átomos que tienen núcleos con igual número atómico Z y másico A .
- 3.13 MBAS, ABS.** Sustancias activas al azul de metileno; Alquil Benceno Sulfonato.
- 3.14 Cloro residual.** Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.
- 3.15 Dureza total.** Es la cantidad de calcio y magnesio presente en el agua y expresado como carbonato de calcio.
- 3.16 Sólidos totales disueltos.** Fracción filtrable de los sólidos que corresponde a los sólidos coloidales y disueltos.

4. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

- 4.1** Cuando el agua potable se utilice como materia prima para la elaboración de productos de consumo humano, la concentración de aerobios mesófilos, no deberá ser superior a 100 UFC/ml

5. REQUISITOS

5.1 Requisitos específicos

5.1.1 El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación:

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
pH	---	6,5 – 8,5
Sólidos totales	mg/l	1 000
Sólidos disueltos	mg/l	500
Conductividad	μS/cm	< 1250
Inorgánicos		
Alcalinidad	mg/l	250 –300
Aluminio, Al	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH3)	mg/l	< 0,5
Antimonio, Sb	mg/l	0,005
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Bicarbonatos	mg/l	250 – 300
Boro, B	mg/l	0,3
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Calcio, Ca	mg/l	70
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	200
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Flúor, F	mg/l	> 1,5
Fósforo, (P-PO ₄)	mg/l	< 0,3
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Litio, Li	mg/l	0,2
Magnesio, Mg	mg/l	30 - 50
Manganeso, Mn	mg/l	0,1
Mercurio, Hg	mg/l	0,0
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Nitratos, N-NO ₃	mg/l	< 40
Nitritos, N-NO ₂	mg/l	0,01
Plata, Ag	mg/l	0,05
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Potasio, K	mg/l	20
Selenio, Se	µg/l	0,01
Sodio, Na	mg/l	200
Sulfatos, SO ₄	mg/l	200
Vanadio, V	µg/l	0,1
Zinc, Zn	mg/l	3
Radiactivos	mg/l	
Radiación total α**	Bg/l	0,1
Radiación total β***	Bg/l	1,0
<p>1) Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.</p> <p>* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: 210Po, 224Ra, 226Ra, 232Th, 234U, 238U, 239Pu.</p> <p>** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: 60Co, 89Sr, 90Sr, 129I, 131I, 134Cs, 137Cs, 210Pb, 228Ra.</p>		

Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Límite máximo
--	--------	---------------

		permitido
Alcanos clorinados		
tetracloruro de carbono		2
Diclorometano	µg/l	20
1,2 dicloetano		30
1,1,1 – tricloetano		2 000
Etanos clorinados		
Cloruro de vinilo		5
1,1 dicloroetano	µg/l	30
1,2 dicloroetano		50
tricloroetano		70
Tetracloroetano		40
Hidrocarburos Aromáticos		
Benceno		10
Tolueno	µg/l	170
Xileno		500
Etilbenceno		200
Estireno		20
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	µg/l	0.3
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)		
benzo (a)pireno		0,01
benzo (a)fluoranteno	µg/l	0,03
benzo (k)Fluoranteno		0,03
benzo (ghi)pirileno		0,03
indeno (1,2,3-cd)pireno		0,03
Bencenos clorinados		
monoclorobenceno		300
1,2-diclorobenceno	µg/l	1 000
1,3-diclorobenceno		
1,4-diclorobenceno		300
triclorobenceno (total)		20
di(2-etilhexil)adipato	µg/l	80

di(2-etilhexil) ftalato	µg/l	8
acrylamida	µg/l	0,5
epiclorohidrin	µg/l	0,4
Hexaclorobutadieno	µg/l	0,6
Ácido etilendiaminatetracético EDTA	µg/l	200
Ácido nitrotriacético	µg/l	200
Dialquil	µg/l	
Oxido tributiltin	µg/l	2

Pesticidas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Alaclor	µg/l	20
Aldicarb	µg/l	10
Aldrin/dieldrin	µg/l	0,03
Atrazina	µg/l	2
Bentazona	µg/l	30
Carbofuran	µg/l	5
Clordano	µg/l	0,2
Clorotoluron	µg/l	30
Diclorodifeniltricloroetano DDT	µg/l	2
1,2-dibromo-3-cloropropano	µg/l	1
2,4-ácido diclorofenoxiacético 2,4-D	µg/l	30
1,2- dicloropropano	µg/l	20
1,3-dicloropropeno	µg/l	20
Heptacloro y heptacloro epoxi de etilendibromide	µg/l	0,03
Hexaclorobenceno	µg/l	1
Isoproturon	µg/l	9
Lindano	µg/l	2
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxiacético MCPA	µg/l	2
Metoxyclo	µg/l	10
Molinato	µg/l	6
Pendimetalin	µg/l	20

Pentaclorofenol	μg/l	9
Permetrin	μg/l	20
Propanil	μg/l	20
Piridato	μg/l	100
Simazina	μg/l	2
Trifluralin	μg/l	20
Herbicidas Clorofenoxi, diferentes a 2,4-D y MCPa 2,4-DB	μg/l	90
Dicloroprop	μg/l	100
Fenoprop	μg/l	9
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxibutírico MCPB	μg/l	2
Mecoprop	μg/l	10
2,4,5-T	μg/l	9

Residuos de desinfectantes

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monocloramina, di y tricloramina	μg/l	3
Cloro	μg/l	5

Subproductos de desinfección

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Bromato	μg/l	25
Clorito	μg/l	200
Clorofenoles	μg/l	
2,4,6-triclorofenol		200
Formaldehído	μg/l	900
Trihalometanos		
Bromoformo	μg/l	100
diclorometano		100
bromodiclorometano		60
cloroformo		200
Ácidos acéticos clorinados		
ácido dicloroacético	μg/l	50

ácido tricloroacético		100
Hidrato clorado	μg/l	
Tricloroacetaldeido		10
Acetonitrilos Halogenados	μg/l	
Dicloroacetonitrilo		90
Dibromoacetonitrilo		100
Tricloroacetonitrilo		1
Cianógeno clorado (como CN)	μg/l	70

5.1.2 El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos:

Requisitos microbiológicos

	Máximo
Coliformes totales (1) NMP/100 ml	< 2*
Coliformes fecales NMP/100 ml	< 2*
Criptosporidium número de quistes//100 litros	Ausencia
Giardia Lamblia número de quistes/100 litros	Ausencia
* < 2 significa que en una serie de 9 tubos ninguno es positivo	
(1) En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberá dar ausencia en el 95 % de las muestras, tomadas durante cualquier período de 12 meses.	

6. INSPECCIÓN


6.1 Muestreo

6.1.1 El muestreo para el análisis microbiológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Mhetods).

6.1.2 El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo a lo establecido en los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Mhetods).

ANEXO II

FICHA TÉCNICA POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)

	FICHA TÉCNICA POLICLORURO DE ALUMINIO – PAC QUIMIPAC	FTP PAG. 1 DE 1 VERSION: 1
---	---	---

1. PROPIEDADES

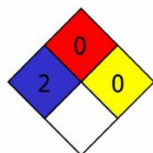
FÓRMULA: $Al_n(OH)_m Cl_{3n-m}$

SINÓNIMOS: PAC, QUIMIPAC

PESO MOLECULAR: 219 gramos/mol

2. REGULACIONES

RIESGO ASOCIADO: Irritante, Corrosivo



3. USOS PRINCIPALES

El policloruro de aluminio tiene excelentes resultados en el uso como coagulante y/o floculante en el tratamiento de aguas potables, industriales y residuales. Amplio uso en agua con turbiedades altas y aguas con elevado contenido de materia orgánica. En la industria del papel se utiliza como agente de retención y para encolado en la fabricación del papel. Tiene aplicación en la industria textil, cerámica, extracción de petróleo y cosmética.

4. PROPIEDADES TÍPICAS

Apariencia	Sólido
Amarillo	
pH (1% Sln)	3,5 – 5
Basicidad %	75 – 90
Al ₂ O ₃ %	30±1
Insolubles %	Máx. 5

5. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

El PAC no es tóxico pero deben ser manejados como ligeramente corrosivos; se debe utilizar guantes de caucho, gafas de seguridad y overol.

El PAC es un producto higroscópico por lo que se debe almacenar en lugares frescos, con mínima humedad y buena ventilación.

El producto se comercializa en bolsas de 25 Kg.

6. PRECAUCIÓN

Usar los elementos de seguridad: guantes, gafas y protección respiratoria durante la manipulación del producto.

En caso de contacto con la piel y ojos lavar con abundante agua.

En caso de ingestión lavar la boca inmediatamente y suministrar 500 ml de agua.

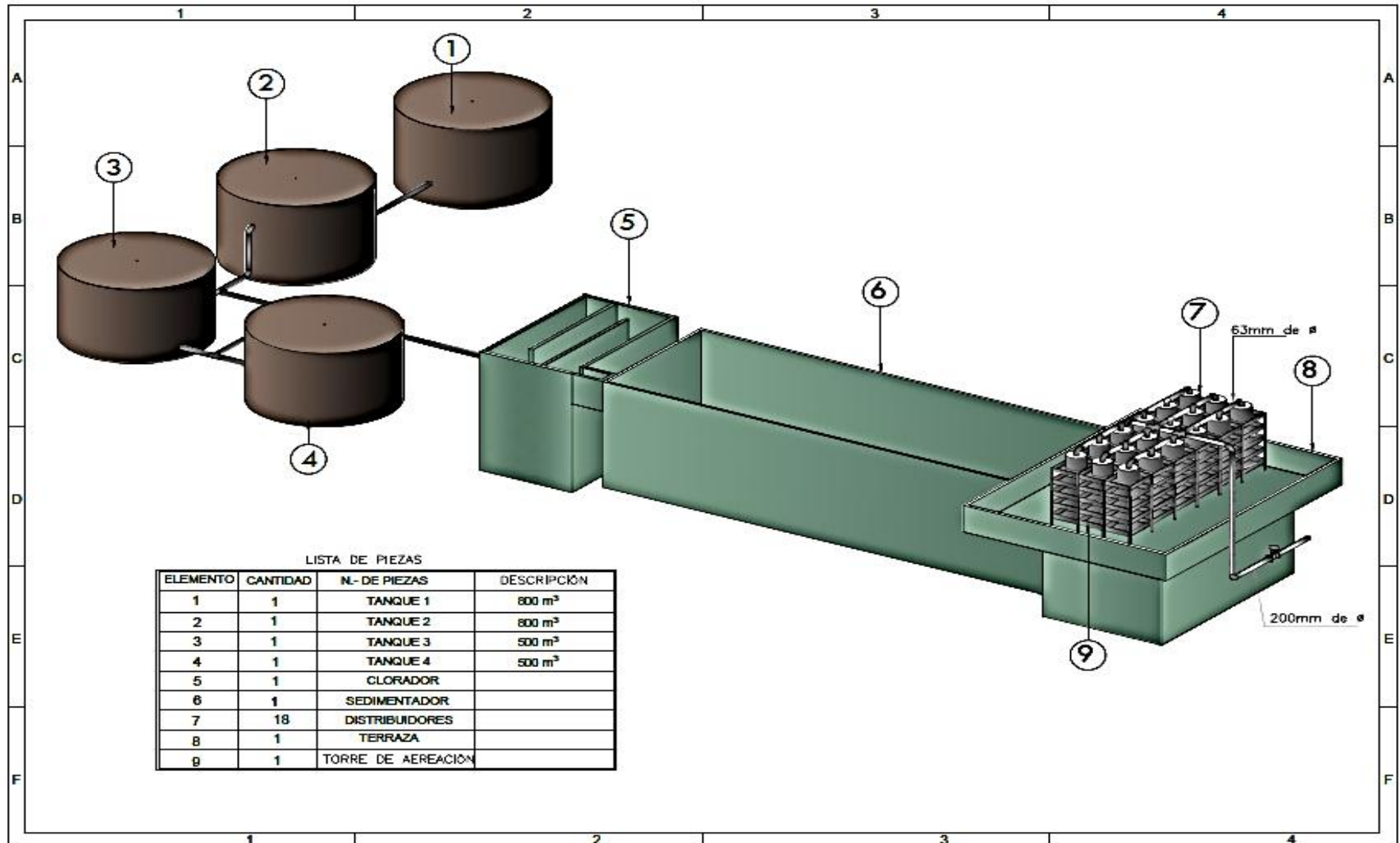
En caso de inhalación salir del área y buscar un área con aire fresco.

En caso de paro respiratorio se debe suministrar oxígeno. Obtener ayuda médica inmediatamente para todos los casos.

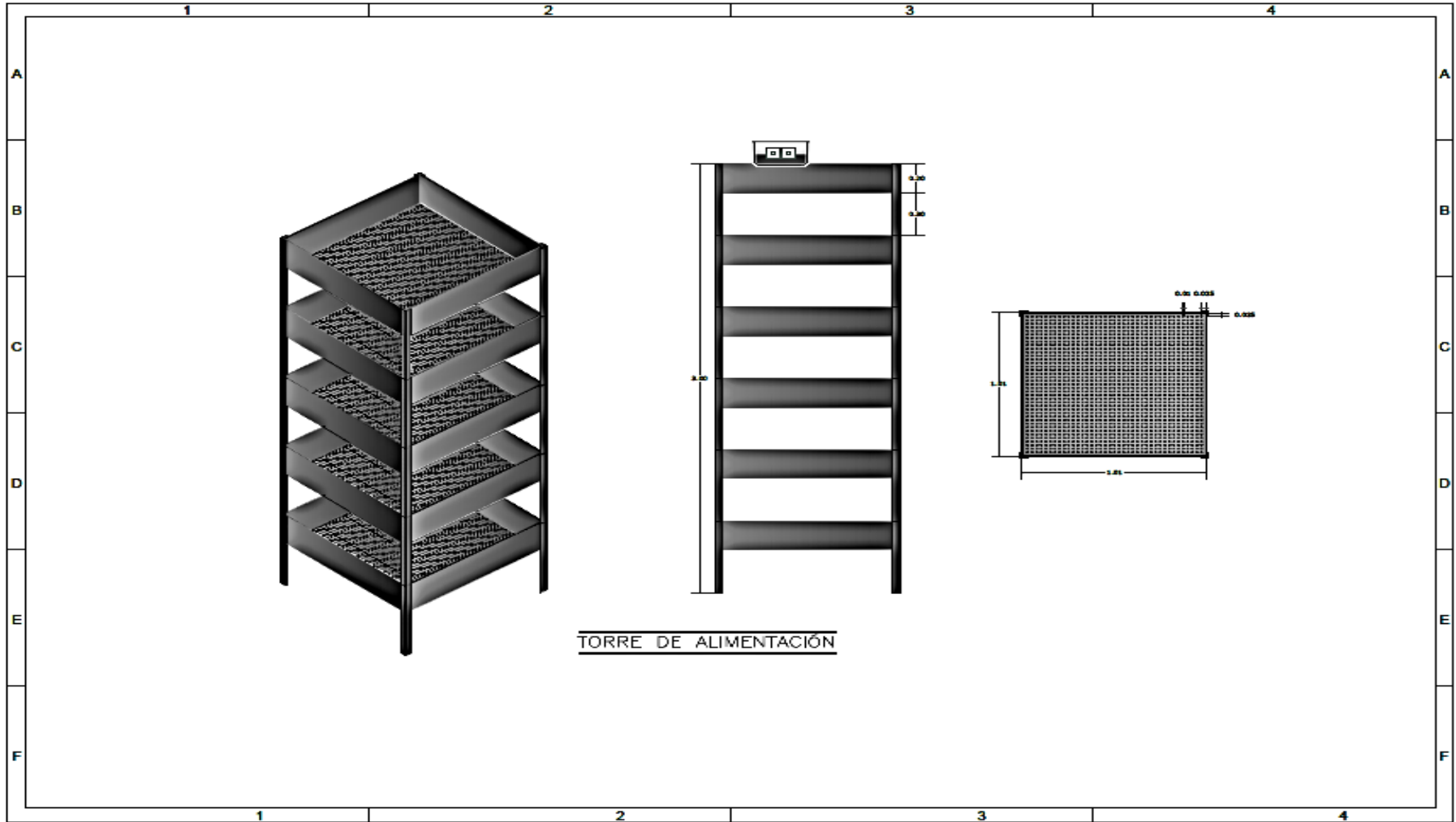
En caso de derrame, recoja el residuo con precaución y lave la zona contaminada con agua.

ANEXO III

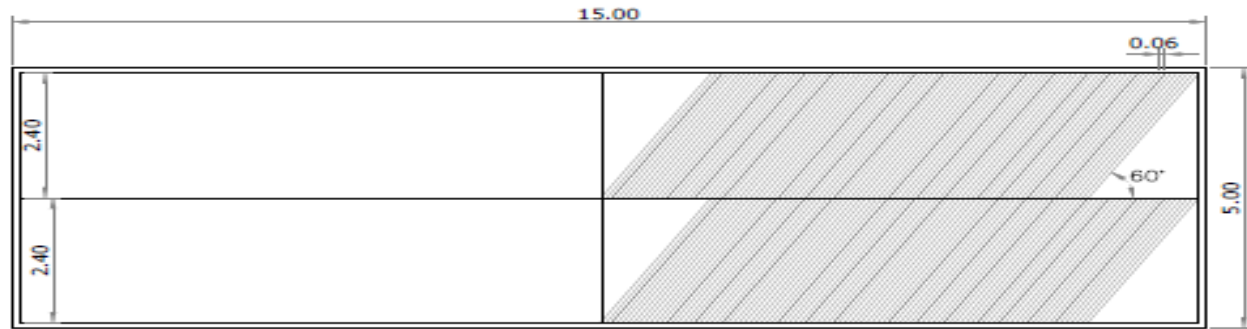
DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUA POTABLE



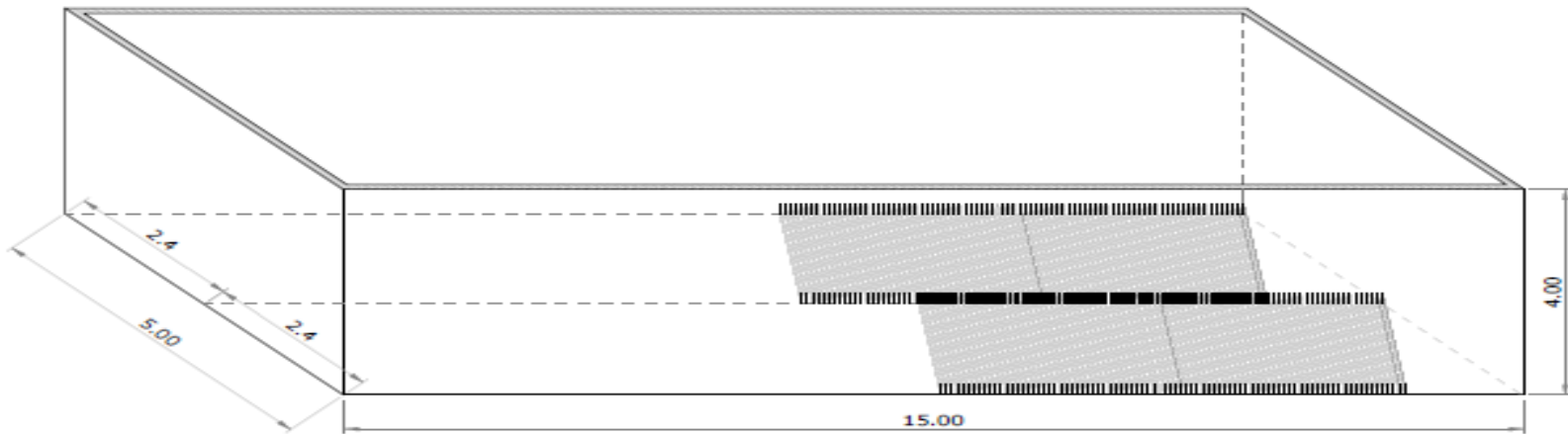
ANEXO IV
DISEÑO DEL SISTEMA DE AIREACIÓN



ANEXO V
DISEÑO DEL SISTEMA DE SEDIMENTACIÓN



PLANTA SEDIMENTADOR



ELEVACIÓN SEDIMENTADOR

ANEXO VI

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS UNIDADES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

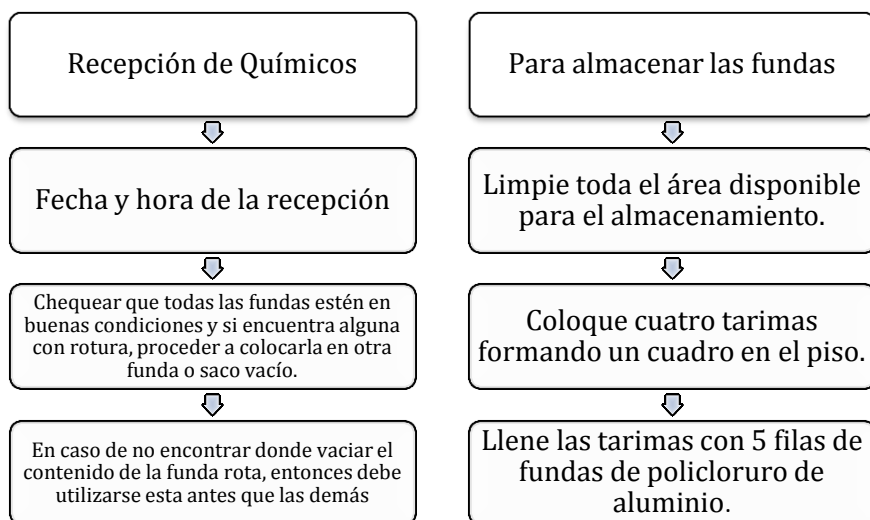
En este capítulo, describiremos los procedimientos de la operación normal de la planta de tratamiento, o sea, de todas aquellas actividades rutinarias que se realizan en la instalación dirigida a optimizar los procesos de tratamiento y a garantizar la calidad del agua producida. De estas actividades, las principales son las que siguen:

1. Manejo de sustancias químicas.
2. Operación de válvulas y compuertas.
3. Dosificación de productos químicos.
4. Medición de caudales y mezcla rápida.
5. Floculación.
6. Sedimentación.
7. Filtración y lavado de filtros.
8. Desinfección.

MANEJO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS

En la planta de tratamiento se utiliza el policloruro de aluminio y cloro. Aprender el manejo adecuado de estos dos químicos es muy importante para el buen funcionamiento de la instalación y para la propia seguridad del operador.

En primer lugar, hablaremos de las características y observaciones a tomar en cuenta en el uso del policloruro de aluminio y en la operación de cloradores. Se recomienda tomar en cuenta los siguientes puntos e información a la hora de recibir y manejar los químicos:



MANTENIMIENTO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN

Cada mes, el operador tiene que caminar por toda la línea para buscar fugas y conexiones ilegales. Tanto como se pueda, limpiar las plantas y demás estorbos para tener esta línea limpia. Si encuentra una fuga, hay que proceder a repararlo cortando el tubo y poniendo una nueva sección de un metro del mismo diámetro (mango de reparación) y notificar inmediatamente a la Junta de Agua para tomar carta en el asunto e investigar si hay culpables o no para proceder a cumplir con la ley y el procedimiento legal.

ANEXO VII

GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES



Lima, 2005

1. Objeto

Establecer criterios para la operación y mantenimiento de desarenadores y sedimentadores de sistemas de abastecimiento de agua rural.

2. Definiciones

Mantenimiento: Conjunto de acciones que se realizan con la finalidad de prevenir o corregir daños que se produzcan en los equipos o instalaciones durante su funcionamiento.

Mantenimiento correctivo: Acciones que se realizan para reparar daños que se producen por efectos del deterioro o mal funcionamiento de un sistema y que no ha sido posible evitar con el mantenimiento preventivo.

Mantenimiento de emergencia: Es aquel que se realiza cuando el sistema o los equipos han sufrido daños por causa imprevista, por lo que requerirán de una solución rápida.

Mantenimiento preventivo: Es una serie de acciones que se realizan para la conservación de las instalaciones y equipos para evitar fallas en su funcionamiento.

Operación: Conjunto de acciones adecuadas y oportunas que se efectúan para que todas las partes del sistema funcionen en forma continua según las especificaciones de diseño.

Operador: Persona calificada y responsable de la operación y el mantenimiento de las instalaciones del sistema.

3. Aplicación

La aplicación de la presente guía será en sistemas rurales y pequeñas localidades.

4. Generalidades

Un adecuado mantenimiento de las unidades de sedimentación se hace necesario para asegurar que estas unidades trabajen en forma efectiva y eficiente; si se descuidara este aspecto las unidades (desarenador y sedimentador) podrían no remover las materias suspendidas en el agua, ocasionando una obstrucción en el sistema de filtro o de distribución. Los sedimentos interfieren con el proceso de sedimentación incrementando la velocidad del agua en el tanque. Además, la acumulación de estos sedimentos puede causar descomposición y causar sabores y olores en el agua.

5. Herramientas y materiales

Dependiendo del trabajo a realizar y del método a utilizar se pueden emplear diferentes herramientas, equipos y materiales.

✓ Herramientas: Se debe contar por lo menos con las siguientes herramientas:

- Manual de operación y mantenimiento
- Turbidímetro de campo
- Pala
- Carretilla
- Llave steelson
- Llave francesa
- Llave de cadena
- Baldes
- Escobillas
- Escoba
- Brochas

✓ Materiales

- Pintura anticorrosiva
- Repuestos y empaquetaduras de válvulas

6. Operación

La operación de los desarenadores y sedimentadores es muy sencilla, básicamente es llevar una vigilancia de la eficiencia de éste para proceder a la evacuación de los sedimentos acumulados en el fondo de la unidad. Esta vigilancia está relacionada con el control del caudal que ingresa a la unidad y el control de la calidad de agua efluente.

Actividad	Acciones claves
Medición y control de caudal	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar el nivel de agua en el dispositivo de aforo de cada unidad. - Ajustar la válvula de entrada hasta alcanzar el caudal de operación.
Medición de turbiedad	<ul style="list-style-type: none"> - Medir la turbiedad del agua a la entrada de la unidad. - Medir la turbiedad del agua a la salida de la unidad.
Evacuación de lodos o sedimentos	<ul style="list-style-type: none"> - Disponer la evacuación de sedimentos del fondo de la unidad, cuando la diferencia entre la turbiedad del agua efluente y el afluente sea baja.
Registro de información	<ul style="list-style-type: none"> - Anotar en el libro de registro diario los valores de turbiedad en el ingreso y salida de la unidad. - Cambios en el caudal de la fuente durante el día. - Fecha de lavado de la unidad.

7. Mantenimiento

El mantenimiento de los desarenadores y sedimentadores incluye actividades periódicas que consisten principalmente en el drenaje y evacuación de sedimentos acumulados en el fondo de la unidad.

La evacuación de los sedimentos que se depositan en el fondo de la unidad será cada 6 u 8 semanas dependiendo de la calidad del agua cruda y del volumen del tanque. Si el agua es muy turbia la remoción de sedimentos se debe realizar con mayor frecuencia.

Actividad	Acciones claves
Lavado de la unidad Cortar el flujo de agua hacia el tanque	<ul style="list-style-type: none"> - Cerrar la válvula de entrada al tanque.
Limpieza cámara de entrada	<ul style="list-style-type: none"> - Desprender el material adherido en el fondo y en las paredes de la cámara, utilizando escobilla con cerdas de material sintético.
Limpieza de cámara de sedimentación	<ul style="list-style-type: none"> - Abrir la válvula de drenaje para la evacuación de lodos y dejar evacuar toda el agua y sedimentos. - Con palas, cubetas, baldes, tablas y carretilla, remover los sedimentos del tanque, empujándolos hacia el drenaje y llevándolos fuera del lugar. Raspar el fondo del tanque y dejarlo completamente limpio. - Si hubieran una bomba y manguera, rociar los sedimentos del fondo. - Enjuagar completamente el tanque antes de restaurar su funcionamiento.
Limpieza cámara de salida	<ul style="list-style-type: none"> - Desprender el material adherido al fondo y paredes de la cámara.
Poner en funcionamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Cerrar los drenajes y abrir las válvulas para llenar el tanque. - Una vez limpio el tanque debe volver a sus funciones en cuanto sea llenado. Esto debe ser entre 4 a 6 horas, dependiendo del volumen del tanque.

Es importante no realizar los cortes de suministro en horas de máxima demanda. Generalmente, se realizan de medio día a media tarde. Se deberá advertir a los usuarios sobre los cortes de agua, así estos pueden regular su consumo durante el periodo de corte.

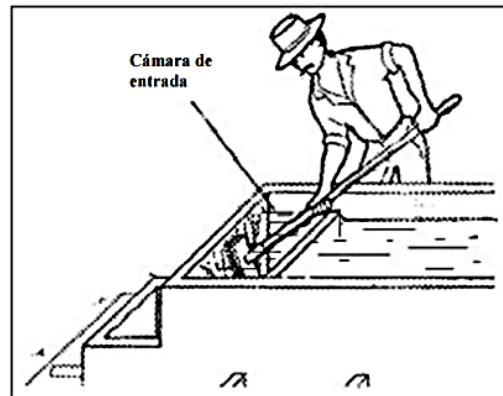


Figura 1. Limpieza de entrada de un desarenador.

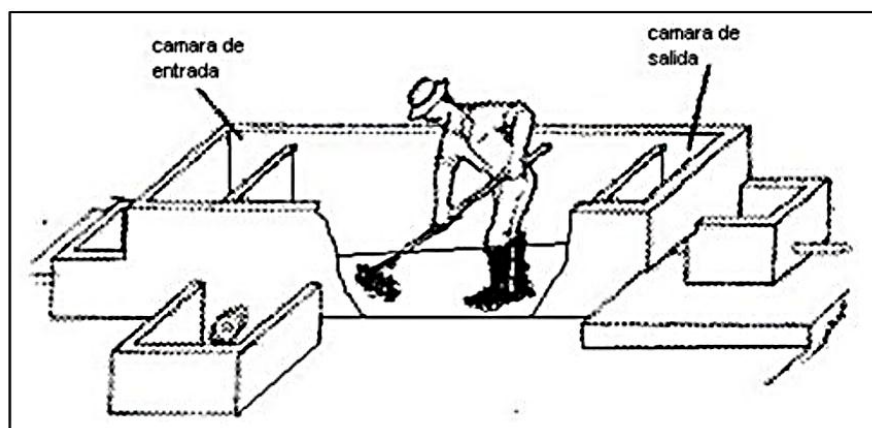


Figura 2. Limpieza de un desarenador.

Otros mantenimientos que deben realizarse con periodicidad son:

- Engrasado de los dispositivos de apertura de compuertas (mensualmente).
- Pintado de elementos metálicos con pintura anticorrosiva (semestralmente).
- Inspección minuciosa de la unidad, resane de deterioros en la estructura, reparación o cambio de válvulas y compuertas (anualmente).

8. Registros de operación y mantenimiento

Los aspectos operacionales y de mantenimiento deben ser considerados desde la fase de planeación del proyecto. Usualmente en la localidad se conforma un ente para administrar el sistema de abastecimiento de agua; sin embargo, es el operador quien juega un papel importante en la operación y mantenimiento del sistema. Se considera, entre otras funciones principales del operador de una planta de tratamiento, el control del flujo, el monitoreo de la calidad del agua, la limpieza de las unidades de pretratamiento y la ejecución de actividades generales de mantenimiento. Una herramienta importante para el operador y que contribuye a alcanzar un mejor control sobre el funcionamiento del sistema, es la ficha de control, la cual debe ser llevada diariamente según el programa de seguimiento acordado

con el ente de soporte en control y vigilancia de la calidad del agua. Los registros obtenidos para los parámetros de interés deben ser comparados con los valores deseables, a fin de establecer la eficiencia en el funcionamiento de la planta de tratamiento y tomar las acciones en caso de ser necesarias.

Cuadro 1. Resumen de operación y mantenimiento

Componente	Usualmente	Actividad periódica o permanente	Instrumentos de apoyo	Recomendaciones
Desarenador y sedimentador	Inspección visual y movimientos de las válvulas.	Retiro de sedimentos (por manejo de válvulas, accesorio y manual). Limpieza de la estructura (interna, externa). Revisión del estado físico y del funcionamiento (caudal, volumen de agua, rebose, fugas, etc.). Pintura y lubricación de los accesorios.	Registro de la información en libros, bitácoras o formularios. Herramientas (palas, palustres, cepillos metálicos, materiales como postes, mallas o alambres para cerramiento área de localización, estructura, etc.).	Mantenimiento preventivo: semanalmente limpieza estructura o según estado de los sedimentos.
				Mantenimiento correctivo: periódicamente.