



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
PARA LA COMUNIDAD DE BELLAVISTA CANTÓN COLTA ”**

**Trabajo de Titulación presentado para optar el Grado Académico de:
INGENIERA QUÍMICA**

AUTORA: MARÍA FERNANDA ORELLANA QUINCHUELA

TUTORA: ING. MÓNICA ANDRADE

Riobamba- Ecuador

2016

©2015, María Fernanda Orellana Quinchuela

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.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primeramente a mi Dios por la vida, por la oportunidad de tener a mi lado a personas que me aman, apoyándome incondicionalmente. A mis amados padres Dolores y Guillermo por su amor, ejemplo de lucha, dedicación y fortaleza. A mi segunda madre y hermana Patricia Álvarez y Carolina Gutiérrez por su amor y comprensión.

A mi querido hermano Alejandro, y amigos Luci, Ana María, Yolanda, Evelin, Gabi C. y Gabi B. quienes me han brindado su amistad y cariño.

A mis queridos maestros Ing. Mónica Andrade e Ing. Hugo Calderón por ser un soporte y ayuda para los estudiantes; quienes al impartirnos sus conocimientos y consejos no solo han sido docentes si no también amigos.

Mi enorme agradecimiento también va para ésta noble institución que me abrió sus puertas dándome la oportunidad de convertirla en mi segundo hogar, pues aquí me forme y crecí académicamente y personalmente.

María Fernanda Orellana Quinchuela

DEDICATORIA

Éste arduo trabajo que he tenido el agrado de realizar se lo dedico a mi Creador, en cada paso dado ha puesto sus bendiciones logrando que llegue hasta aquí.

A mis adorados padres Dolores y Guillermo que se han esforzado día a día por darnos lo mejor, para que podamos alcanzar nuestras metas y finalmente culmine con uno de mis sueños.

A mi amada hijita, Sofita que es mi motor para seguir y no rendirme, has sido mi compañera de trabajo, te has esforzado conmigo. También es tu logro mi amor.

A mi segunda familia Gutiérrez Álvarez, quienes han sabido impulsarme y motivarme para continuar.

María Fernanda Orellana Quinchuela

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

El tribunal del Trabajo de Titulación certifica que el trabajo de investigación: “**DISEÑO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD DE BELLAVISTA CANTÓN COLTA**” de responsabilidad de la señorita egresada María Fernanda Orellana Quinchuela, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Mónica Andrade DIRECTOR DE TESIS
Ing. Hugo Calderón MIEMBRO DEL TRIBUNAL

“Yo, María Fernanda Orellana Quinchuela, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente trabajo, y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”.

TABLA DE CONTENIDO

	Pp.
RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN	3
JUSTIFICACIÓN	5
OBJETIVOS	6
CAPÍTULO I	7
1. MARCO TEÓRICO	7
1.1. Agua Potable	7
1.2. Fuentes de Agua	7
1.2.1. Tipos de Fuentes de Agua	7
1.2.1.1. Aguas Superficiales.....	8
1.2.1.2. Aguas Subterráneas	8
1.3. Calidad del Agua Potable	9
1.3.1. Parámetros Físicos.....	9
1.3.1.1. Conductividad	9
1.3.1.2. Turbidez y Color	9
1.3.1.3. Olor y Sabor	10
1.3.2. Parámetros Químicos	10
1.3.2.1. Ph.....	10
1.3.2.2. Dureza	10
1.3.2.3. Bario	11
1.3.2.4. Fluoruro.....	11
1.3.2.5. Hierro	11
1.3.2.6. Plomo	11
1.3.2.7. Manganeso	11
1.3.2.8. Cloruros.....	12
1.3.2.9. Sulfatos.....	12

1.3.3.	Parámetros Microbilógicos	12
1.3.3.1.	Coliformes Totales	12
1.3.3.2.	Coliformes Fecales y E. Coli.....	13
1.4.	Tratamiento de Agua Potable	13
1.4.1.	Captación.....	13
1.4.1.1.	Vertederos	14
1.4.1.2.	Rejillas.....	17
1.4.2.	Aireación	18
1.4.2.1.	Tipos de Aireadores	18
1.4.3.	Coagulación - Floculación	20
1.4.3.1.	Tipos de Coagulantes	22
1.4.4.	Sedimentación	26
1.4.4.1.	Tipos de Sedimentadores	27
1.4.5.	Filtración	29
1.4.5.1.	Grava	30
1.4.5.2.	Arena	30
1.4.5.3.	Carbón activado.....	30
1.4.5.4.	Zeolita.....	31
1.4.6.	Desinfección.....	31
1.4.6.1.	Tipos de Desinfección.....	32
1.5.	Muestreo	36
1.5.1.	Toma de Muestra	36
1.5.1.1.	Tipos de muestras.....	36
1.6.	CAUDAL	37
1.6.1.	Medición de Caudales	38
1.6.1.1.	Método Volumétrico	38
1.6.1.2.	Método Superficie - Velocidad	38
1.6.1.3.	Caneleta Parshall.....	39
1.7.	Tuberías para el Transporte de Agua Potable.....	39
1.7.1.	Polietileno de Alta Densidad.....	40
1.7.2.	Tuberías de Cobre	40
1.7.3.	Tuberías de PVC	40

1.8.	Diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable	41
1.8.1.	Población Futura	41
1.8.2.	Dotación de Agua.....	41
1.8.2.1.	Dotación Básica.....	41
1.8.2.2.	<i>Dotación Futura</i>	42
1.8.3.	<i>Gastos</i>	42
1.8.3.1.	<i>Gasto Medio Diario (Q_{md})</i>	42
1.8.3.2.	<i>Gasto Máximo Diario (Q_{Md})</i>	43
1.8.4.	<i>Caudales de Diseño</i>	43
1.8.5.	<i>Diseño de la Torre de Aireación</i>	44
1.8.5.1.	Cálculos de Diseño para una Torre de Aireación.....	44
1.8.5.2.	Cálculo de la Bomba	46
1.8.6.	Desinfección.....	49
1.8.6.1.	Criterios de Diseño.....	50
1.8.6.2.	Cálculo de la cantidad de Hipoclorito de Calcio a utilizar por día	51
1.8.6.3.	Cálculo del Volumen del Hipoclorador	51
CAPÍTULO II.....		53
2.	MARCO EXPERIMENTAL.....	53
2.1.	Localización de la Investigación.....	53
2.2.	Diagnóstico Actual	53
2.3.	Muestreo	54
2.4.	Metodos y Técnicas	55
2.4.1.	Métodos	55
2.4.1.1.	Método Inductivo.....	55
2.4.1.2.	Método Deductivo	55
2.4.1.3.	Método Experimental	55
2.4.2.	Técnicas	56
2.4.2.1.	Determinación del Ph.....	57
2.4.2.2.	Determinación de la Conductividad	57
2.4.2.3.	Determinación de Color Aparente	57
2.4.2.4.	Determinación de la Turbiedad.....	57

2.4.2.5. Determinación de Hierro	58
2.4.2.6. Determinación de Fluoruro	58
2.4.2.7. Determinación de Sulfatos	58
2.4.2.8. Determinación de Nitratos	59
2.4.2.9. Determinación de Nitritos	59
2.4.2.10. Determinación de Cloruros	60
2.5. Caracterización del Agua	60
2.5.1 Resultados Obtenidos de la Caracterización.....	61
2.5.2 .Comparación del promedio obtenido con la Norma NTE INEN 1108-2011	62
2.6. Pruebas de Tratabilidad.....	63
2.6.1. Aireación.....	63
2.6.2. Filtración.....	64
2.6.3. Dosificación de Cloro	66
2.7. Porcentaje de Remoción de los Parámetros Fuera de Norma	68
2.7.1 Porcentaje de Remoción del Flúor.....	68
2.7.2. Porcentaje de Remoción del Hierro	69
2.8. Resultados Obtenidos luego del Tratamiento	70
3.1. Cálculo Población Futura para el Diseño	71
3.2. Cálculo de las Dotaciones	71
3.2.1. Cálculo de Dotación Básica	71
3.2.2. Dotación Media Futura.....	73
3.3. Cálculos de los Gastos.....	73
3.3.1. Gasto Medio Diario (Q_{md}).....	73
3.3.2. Gasto Máximo Diario (Q_{Md}).....	74
3.4. Cálculos para Caudal de Diseño.....	75
3.5. Consideraciones del Diseño del Proceso de Potabilización	75
3.5.1. Diseño de un Aireador de Bandejas	75
3.5.1.1. Área Total del Aireador.....	76
3.5.1.2. Altura Total de la Torre.....	76
3.5.1.3. Dimensionamiento de Cada Bandeja	77
3.5.1.4. Tiempo de Exposición.....	78
3.5.1.5. Cálculo del Caudal sobre Cada Bandeja	79
3.5.2. Cálculo de la Potencia de la Bomba.....	81

3.5.2.1.	Cálculo de las Pérdidas Primarias.....	81
3.5.2.2.	Cálculo de las pérdidas secundarias.....	83
3.5.2.3.	Selección de Bomba.....	86
3.5.3.	Diseño para el Proceso de Desinfección	87
3.6.	Resultados del Dimensionamiento de los Procesos de Potabilización.....	93
3.6.1.	Proyección Futura	93
3.6.2.	Resultado de Caudales para el Diseño de la Planta.....	94
	Tabla17-3: Resultados de los caudales para el diseño.....	94
3.6.3.	Resultados de la Torre de Aireación	95
3.6.4.	Resultados del Tanque de Almacenamiento de Agua.....	95
3.6.5.	Resultados Obtenidos del Tanque Hipoclorador.....	96
3.7.	Requerimiento Presupuestario.....	96
3.7.1.	Presupuesto General de la Planta de Potabilización.....	96
3.8.	Propuesta	98
3.9.	Análisis y Discusión de Resultados	99
	CONCLUSIONES.....	100
	RECOMENDACIONES.....	101

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A_i	Área de aireación (m^2).
A_{if}	Área total del aireador (m^2).
A_{of}	Área total de orificios (m).
D	Diámetro de los orificios (m).
DB	Diámetro de la tubería en la entrada al filtro (m).
DMF	Diámetro de la tubería en la salida del filtro (m).
e_o	Espesor de bandejas (m).
E_o	Espacio entre orificios de filtros, (m).
f_s	Espesor de la bandeja de aireación (m).
F_c	Factor de seguridad, (%).
g	Gravedad (m^2/s).
H	Altura de la torre de aireación (m)
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
k_1	Coefficiente de variación diaria, (adimensional).
k_2	Coefficiente de variación horaria, (adimensional).
K	Constante, (adimensional).
FM	Factor de mayorización, (adimensional).
l	Lado de bandeja (m).
l_p	Número de torres (unidad).
L_a	Población actual.
L_{cr}	Población futura (m).
Q	Caudal (L/s).
Q_c	Caudal de captación (L/s)
Q_d	Caudal de diseño (L/s).
L_s	Gasto medio diario (L/s).
L_{cf}	Gasto máximo diario (L/s).
L_{mp}	Gasto máximo horario (L/s).
r	Tasa crecimiento anual de crecimiento (%).

n	Número de años que se va a proyectar la población (años).
te	Tiempo de exposición en el área de aireación (s).
N	Total de usuarios servidos (usuario).
V _b	Volumen (L).
V _o	Volumen de agua consumida (L/día).

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Valores de los Coeficientes k_1	43
Tabla 2-1: Criterios de Diseño para Aireadores de Bandeja.....	44
Tabla 3-1: Coeficientes de Pérdidas para Accesorios.....	47
Tabla 4-2: Muestreo.....	54
Tabla 5-2: Descripción del Método de Análisis.....	56
Tabla 6-2: Resultados Obtenidos en la Caracterización.....	60
Tabla 7-2: Comparación de los Resultados Obtenidos en la Caracterización con la Norma INEN 1108:2011 Agua Potable. Requisitos.....	61
Tabla 8-2: Resultados obtenidos en el Proceso de Aireación	64
Tabla 9-2 : Resultados Obtenidos en la Filtración con Zeolita activada con Cloruro de Sodio al 10%	65
Tabla 10-2: Resultados Obtenidos en la Filtración con Zeolita activada con Hidróxido de Sodio 0,1 N	65
Tabla 11-2: Resultados Obtenidos en la Cloración	66
Tabla 12-2: Resultados de la Caracterización Física, Química y Microbiológica del Agua Tratada.....	70
Tabla 13-3: Caudales	72
Tabla 14-3: Sumatoria de los Coeficientes de Accesorios.....	84
Tabla 15-3: Sumatoria de los Coeficientes de Accesorios.....	85
Tabla 16-3: Resultados Proyección Futura (2030).....	93
Tabla 17-3: Resultados de los Caudales para el Diseño	94

Tabla 18-3: Resultado de Diseño de la Torre de Aireación	95
Tabla 19-3: Resultado del Tanque de Almacenamiento de Agua	95
Tabla 20-3: Resultado del Hipoclorador.....	96
Tabla 21-3: Presupuesto de la Planta de Tratamiento de Agua Potable	96

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1	37
Ecuación 2-1	39
Ecuación 3-1	41
Ecuación 4-1	42
Ecuación 5-1	42
Ecuación 6-1	43
Ecuación 7-1	43
Ecuación 8-1	44
Ecuación 9-1	44
Ecuación 10-1	45
Ecuación 11-1	45
Ecuación 12-1	45
Ecuación 13-1	46
Ecuación 14-1	46
Ecuación 15-1	46
Ecuación 16-1	47
Ecuación 17-1	51
Ecuación 18-1	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Tipos de Vertientes.....	14
Figura 2-1	Vertedero Libre.....	15
Figura 3-1	Vertedero Sumergido.....	16
Figura 4-1	Tipos de Vertederos Según su Forma.....	16
Figura 5-1	Sistema de Rejillas.....	17
Figura 6-1	Aireación por Cascada.....	19
Figura 7-1	Torre de Aireación	20
Figura 8-1	Proceso de Coagulación - Flocculación	21
Figura 9-1	Sedimentador Corte Longitudinal	27
Figura 10-1	Sedimentador Rectangular.....	28
Figura 11-1	Sedimentador Circular.....	29
Figura 12-1	Filtración con Arena como Medio Filtrante.....	29
Figura 13-1	Método Volumétrico	38
Figura 14-1	Método Velocidad - Superficie	38
Figura 15-1	Canaleta Parshall.....	39
Figura 16-1	Catálogo PEDROLLO.....	49
Figura 17-1	Dimensiones de un Prisma Rectangular.....	51
Figura 18-2	Localización del Estudio	53
Figura 19-2	Diagrama de Bloques del Tratamiento de Agua Potable Actual.....	54
Figura 20-3	Diseño de la Torre de Aireación	80
Figura 21-3	Diseño de las Bandejas de la Torre de Aireación	81
Figura 22-3	Sistema de Bombeo desde la Captación hasta la Torre de Aireación.....	81
Figura 23-3	Selección de la Bomba mediante Catálogo Pedrollo	85
Figura 24-3	Sistema de Cloración	88
Figura 25-3	Tanque de Almacenamiento de Agua a Clorar	89
Figura 26-3	Dimensionamiento de un Hipoclorador	92
Figura 27-3	Dimensiones del Hipoclorador	93
Figura 28-3	Diagrama de Bloques del Tratamiento de Agua Potable Propuesto	99

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1-2	Porcentaje de Remoción del Flúor.....	68
Gráfica 2-2	Porcentaje de Remoción del Hierro.....	69

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.	Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2011 Agua Potable. Requisitos Segunda Revisión.
ANEXO B.	Preparación de la solución Hipoclorito de Calcio al 0,2%
ANEXO C.	Ficha Técnica Hipoclorito de Calcio
ANEXO D	Planta de tratamiento de agua potable
ANEXO F	Planta de tratamiento de agua potable
ANEXO G	Planta de tratamiento de agua potable

RESUMEN

Se diseñó un Sistema de Tratamiento de Agua Potable para la comunidad de Bellavista del cantón Colta, con el objetivo de proveer agua de calidad para los moradores de este sector. Para el desarrollo de la investigación se tomaron muestras de agua de la vertiente de esta comunidad para realizar la caracterización físico-químico y microbiológico aplicando los métodos estandarizados para el agua potable y el Manual de Análisis de Agua; teniendo como resultados dos parámetros fuera de los límites permisibles según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2011 Agua Potable. Requisitos. Segunda Revisión, como son: hierro con un valor de 0,48 mg/l y flúor con un valor de 2,5 mg/l; así también el agua en cuanto a las características organolépticas presenta olor y sabor desagradable. Por tal motivo fue necesario seleccionar un tratamiento que nos permita disminuir los valores antes citados, se simuló un proceso de aireación con lo cual se consiguió reducir la concentración de hierro hasta 0,03 mg/l y flúor hasta 1,17 mg/l; finalmente se cloró el agua para garantizar que el agua llegue libre de coliformes fecales a cada uno de uno de los domicilios. Por tanto el sistema de tratatamiento consiste en un tanque de captación desde donde el agua es llevada hacia una torre de aireación de 2 m de altura y posteriormente pasa a un sistema de cloración. Con dicho proceso se consigue una remoción del 53 % de flúor y 94% de hierro; además se consiguió mejorar la apariencia física del agua así como sus caraterísticas orgalépticas. Se concluye que el tratamiento propuesto es el adecuado para lograr ajustar los parámetros que están fuera a lo citado en la Norma NTE INEN 1108:2011 Agua Potable. Requisitos. Segunda Revisión, y brindar agua de calidad para los habitantes de la comunidad de Bellavista. Se recomienda al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Colta aplicar el Diseño del Sistema de Tratamiento para Agua Potable.

<DISEÑO> <SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE> <COLTA[Cantón]>
<BELLAVISTA[Comunidad]> < NORMA INEN 1108:2011>

ABSTRACT

A system of potable water to the community of Bellavista in Colta town, with the goal of providing quality water for the inhabitants of this area was designed. For the development of research samples of water shed in this community were taken for physical-chemical and microbiological characterization using standardized for drinking and wastewater and Water Analysis Manual methods, with the results two parameters they are out of the permissible limits given by the Ecuadorian Technical Standard INEN 1108:2011 Drinking Water. Requirements Second Revision such as: iron with a value of 0.48 mg/l fluoride with a value of 2.5 mg/l; water well as the organoleptic characteristics presents unpleasant odor and taste. Therefore it was necessary to select a treatment that allows us to reduce the above values, aeration process with which it was possible to reduce the concentration of iron up to 0,03 mg/l fluoride to 1,17 mg/l was simulated; finally the water was chlorinated to ensure that reaches free of fecal coliforms each of the homes. Therefore the treatment system consists of a collection tank from where water is carried into a tower aeration 2 m tall and subsequently passed to a chlorination system. With this process, a removal of 53 % fluoride and 94% iron is achieved; he also managed to improve the physical appearance of the water and its organoleptics characteristics. It is concluded that the proposed treatment is appropriate to achieve set parameters that are outside the norm quoted in the Standard NTE INEN 1108:2011 Drinking Water. Requirements. Second Revision; and provide quality water to the residents of the community of Bellavista. The Decentralized Autonomous Municipal Government is advised of Colta applying desing system for drinking water treatment.

**[DESING] [SYSTEM WATER TREATMENT] [COLTA] [town] [BELLAVISTA]
[Community] [NORM INEN 1108:2011]**

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento esencial para la vida humana, debido a que es importante tanto para el uso personal como doméstico; por esta razón debe estar libre de microorganismos y sustancias que sean una amenaza para la salud de las personas. Y para obtener agua de calidad, las características químico-físicas y biológicas deben estar dentro del rango establecidos en las normas de agua potable para el consumo humano, caso contrario el agua debe ser sometida a un proceso de tratabilidad, garantizando así su consumo.

El diseño del sistema de tratamiento de Agua Potable de la Comunidad de Bellavista, perteneciente al Cantón Colta de la Provincia de Chimborazo constará de un sistema de aireación por bandejas con lo cual se conseguirá eliminar hierro, flúor y aportará al agua características organolépticas agradables como sabor y olor; además se eliminará todo tipo de micrororganismos patógenos mediante un sistema de cloración. El agua que atravesará esta serie de procesos, presentará condiciones que está apta para el consumo, el cual está cumpliendo con los requisitos exigidos por la Norma NTE INEN 1108:2011 AGUA POTABLE. REQUISITOS.

ANTECEDENTES

La comunidad de Bellavista perteneciente a la Parroquia de Cajabamba, Cantón Colta, posee una superficie de 21 Km². Cuenta con una población aproximada de 85 habitantes, y su economía gira alrededor de la agricultura, sus productos son comercializados en el Cantón Colta.

La problemática que surge en la Comunidad de Bellavista es que no cuenta con un sistema de tratamiento de agua potable para el consumo diario de sus habitantes. El agua que consumen es agua entubada procedente de una vertiente. El agua de dicha vertiente es transportada por medio de tuberías de PVC a una distancia de 3 km y recolectada en un tanque de almacenamiento para su posterior distribución. Todo esto contribuye a problemas de salud, especialmente a los niños que son los más vulnerables a sufrir infecciones; otro problema que se detectó durante las diferentes visitas a la comunidad fue el deterioro de las piezas dentales de los habitantes consecuencia del consumo de agua no tratada, ya que la misma presenta elevada concentración de flúor por encima de los niveles permisibles para el consumo; además la presencia de flúor en el agua se va acumulando en el organismo humano, específicamente en la Glándula Pineal, ocasionando problemas de salud a futuro como: osteosarcoma, fluorosis, daños en el ADN, disfunción de la tiroides, desequilibrio hormonal, depresión, bajo IQ en niños en fase de desarrollo, tumores cerebrales, demencia, envejecimiento prematuro, enfermedades cardíacas, hipertensión arterial, accidente cardio y cerebrovascular, dislipidemia, hiperlipidemia, resistencia a la insulina, hyperlipoproteinaemia, Alzheimer y Parkinson, etc.

JUSTIFICACIÓN

El agua es el recurso natural renovable más importante para el sostenimiento de la vida humana, la actual condición del agua que consumen los moradores de la Comunidad de Bellavista del Cantón Colta, ha llevado que ésta sea la razón principal del deterioro de su calidad de vida; provocando que tengan inconvenientes respecto a su salud.

La necesidad de ofrecer a la población de la Comunidad de Bellavista de la Parroquia de Cajabamba del Cantón Colta de la Provincia de Chimborazo, un suministro de agua potable que posea los parámetros adecuados para su consumo; justifica la importancia de realizar el presente estudio, cuyo objetivo principal es el diseño de un sistema de tratamiento de agua potable que cuente con todos los procesos necesarios que permitan entregar agua de calidad y libre de microorganismos patógenos para los habitantes de la zona.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Colta se ha interesado en el diseño del sistema de Agua Potable para esta comunidad, con el fin de optimizar el nivel de vida de sus pobladores y reducir las dificultades que se han provocado a causa de la ausencia de un sistema de tratamiento de agua potable adecuado.

La ejecución de este proyecto ayudará a toda la Comunidad de Bellavista, por esta razón se aplicarán todos los conocimientos adquiridos para alcanzar la meta propuesta para dar solución al problema que inquieta a la población de esta zona.

OBJETIVOS

GENERAL

- Diseñar un sistema de tratamiento de agua potable para la comunidad de Bellavista del cantón Colta.

ESPECÍFICOS

- Determinar las características químicas – físicas y microbiológicas del agua cruda.
- Identificar los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles en base a la Norma NTE INEN 1108:2011 Agua Potable. Requisitos. Segunda Revisión.
- Diseñar el sistema de tratamiento de agua potable que permita ajustar los parámetros que se encuentran fuera de límite a lo que cita la Norma NTE INEN 1108:2011 Agua Potable. Requisitos. Segunda Revisión.
- Validar el sistema de tratamiento mediante una segunda caracterización del agua tratada.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Agua Potable

Como es de conocimiento el agua es uno de los recursos más preciados que dispone la vida en nuestro planeta. Así también se sabe que el agua es un recurso renovable, pero muchos de los depósitos subterráneos que sirven para abastecer a la población se encuentran contaminados y cuesta mucho trabajo y dinero remover las impurezas del líquido vital. Por eso, es obligación de cada persona cuidar el agua y no desperdiciarla.

El agua que consumimos es agua potable y es una combinación de aguas superficiales y aguas subterráneas y ha sido sometida algún proceso de tratamiento para ser apta al consumo humano. El agua potable es adecuada para todos los usos domésticos habituales, incluida la higiene personal y es fundamental para impedir y reducir la propagación de enfermedades relacionadas con la falta de saneamiento y la salud.

1.2. Fuentes de Agua

Las fuentes de agua dulce que se dispone son aguas superficiales y aguas subterráneas. El abastecimiento de agua es gracias al ciclo que cumple la misma por medio de la lluvia, la infiltración en el suelo que ayuda en enriquecimiento de los acuíferos, la retención o almacenamiento en los ríos y su posterior evaporación.

1.2.1. Tipos de Fuentes de Agua

Las fuentes de agua potable son de gran importancia para abastecer a la población, y para que sea una excelente fuente de abastecimiento se debe tener en cuenta ciertos parámetros como: calidad del agua, disponibilidad permanente del agua, costos que se emplean en el sistema de tratamiento, operación y mantenimiento del sistema.

Actualmente muchas ciudades en el mundo no disponen de agua potable, debido al aumento en su población y deforestación y aun más se ven afectadas por el calentamiento global.

1.2.1.1. Aguas Superficiales

Es aquella que la podemos encontrar sobre la superficie terrestre como en ríos, lagos, lagunas, embalses, canales, etc. La calidad de este tipo de aguas puede verse afectada por contaminantes de descarga de desagües domésticos e industriales, residuos biológicos y agrícolas; por tal razón requiere más etapas de tratamiento debido a que posee mayor turbiedad y mayor grado de contaminación al estar expuesta a conductas negativas provocadas por los seres humanos.

1.2.1.2. Aguas Subterráneas

La mayoría del agua subterránea se origina como agua meteórica que cae de precipitaciones en forma de lluvia o nieve. Si no se pierde por la evaporación, transpiración de las plantas o escorrentía, el agua se infiltra en el terreno. Al principio ciertas cantidades de agua de precipitación que cae en el suelo seco se retienen fijamente como una película en la superficie y en los micro poros de las partículas del suelo.

La porosidad y estructura del suelo determina el tipo de acuífero y la circulación de las aguas subterráneas. El agua subterránea puede circular y almacenarse en el conjunto del estrato geológico; este es el caso de suelos porosos como arenosos, de piedra y aluvión. Puede circular y almacenarse en fisuras o fallos de las rocas compactas que no son en ellas mismas permeables, como la mayoría de rocas volcánicas y metamórficas. El agua corre a través de la roca y circula en fisuras localizadas y dispersas. Las rocas compactas de grandes fisuras o cavernas son típicamente calizas.

Las aguas subterráneas podemos encontrarlas en vertientes, manantiales, pozos, excavados y nacientes.

1.3. Calidad del Agua Potable

La calidad del agua se refiere a las optimas condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. Se considera que el agua es de buena calidad cuando está absuelve de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores. La importancia de la calidad del agua radica en que el agua es uno de los principales medios para la transmisión de muchas enfermedades que afectan a los seres humanos.

Además de lo concerniente a salud, hay que tener en cuenta que la confianza y la satisfacion del consumidor también son importantes; es así que los componentes estéticos como olor, sabor, color, turbidez y dureza también definen la calidad del agua.

Al hablar de la calidad del agua potable existen parámetros físicos, químicos y microbiológicos que se debe tomar en cuenta a citar tenemos:

1.3.1. Parámetros Físicos

1.3.1.1. Conductividad

Se define como la capacidad que presenta el agua para conducir la corriente eléctrica, esto se debe a la presencia de sólidos disueltos o iones que son los responsables del paso de la corriente.

En el laboratorio la conductividad se determina mediante instrumentos comerciales que nos dan una lectura directa a una temperatura de 25 °C y se expresa en $\mu\text{C}/\text{cm}$.

1.3.1.2. Turbidez y Color

La apariencia del agua puede ser un factor significativo en la satisfacion del consumidor, bajos niveles de turbidez y color son también importantes para muchas industrias. Las aguas normalmente tratadas tienen valores de color entre 3 y 15 y una turbidez por debajo de 1 NTU. Las fuentes de color en el agua pueden incluir iones metálicos naturales como el hierro y manganeso.

1.3.1.3. Olor y Sabor

Los problemas de sabor en el agua derivan en parte de las sales y la presencia de metales como hierro, cobre, manganeso y zinc. En general las aguas con sólidos totales disueltos menor que 1200 mg/l son aceptables para los consumidores. Las sales específicas pueden ser mas significativas en términos de sabor como el cloruro de magnesio y bicarbonato de magnesio. El fluoruro también puede provocar un sabor peculiar a partir de 2,4 mg/l .

Los olores y sabores objetables pueden también tener lugar en agua contaminada con productos orgánicos, sintéticos como resultado del tratamiento del agua o de revestimientos o disolventes comunes utilizados dentro de los depósitos o tuberías.

1.3.2. Parámetros Químicos

1.3.2.1. Ph

Se refiere a la concentración del ion hidrógeno y es un parámetro de gran importancia para aguas residuales y potables, ya que entre un pH de 6.5 y 8 se desarrolla la mayor parte de la vida biológica, es decir que por encima y por de debajo de ese valor causaría problemas a la vida biológica de ríos, lagos y cualquier cuerpo de agua dulce.

1.3.2.2. Dureza

Originalmente la dureza del agua se entendió como la medida de su capacidad para precipitar al jabón. Los componentes principales de la dureza son el calcio y el magnesio, aunque los iones de aluminio, hierro manganeso, estroncio y zinc pueden contribuir si están en concentraciones elevadas. La dureza se expresa como una cantidad equivalente de carbonato cálcico. Las aguas que tienen menos de 75 mg/l de carbonato cálcico se consideran blandas. Las que tienen entre 75 mg/l y 150 mg /l son moderadamente duras. A aquellas que tienen de 150 mg/l a 300 mg/ son duras y las que sobrepasan los 300 mg/l son muy duras.

1.3.2.3. Bario

Aparece naturalmente en cantidades mínimas en la mayoría de agua subterráneas y superficiales, por su exposición a los minerales que contienen bario. Las tasas de ingestión de 0,5 mg/kg día de bario en el agua potable es decir 10 mg/l durante 16 meses demostraron efectos hipertensivos.

1.3.2.4. Fluoruro

El fluoruro aparece naturalmente en la tierra vegetal y en muchos suministros de agua. Durante mas de 40 años se ha añadido fluoruro a las aguas carentes de cantidades naturales suficientes para reducir las caries dentales. Sin embargo la sobredosis puede dar lugar a la aparición de fluorosis así también náuseas, diarreas, dolores abdominales y dolores de cabeza.

1.3.2.5. Hierro

Comúnmente se halla en pozos, el óxido de los tubos de hierro puede aumentar la concentración de materiales disueltos en el agua tratada, así como la total de hierro. La presencia de hierro en el agua puede generar un sabor desagradable en la misma y dejar manchas en la ropa que se lava con dicha agua.

Su determinación analíticamente se hace por colorimetría y su eliminación se la consigue principalmente por sistema de aireación.

1.3.2.6. Plomo

El plomo aparece principalmete en el agua potable a partir de la corrosión de tubo de plomo y grifos construidos con bronce o cobre emplomado. Los efectos sobre la salud están correlacionadas normalmete con las pruebas de nivel en la sangre. Los niños pequeños absorben el plomo más fácilmente que los adultos.

1.3.2.7. Manganeso

Está por todas partes en el medio ambiente y a menudo en el agua subterránea. El ión manganeso se comporta en la mayoría de los casos muy parecido al ión hierro, además de poder ser bivalente y

trivalente positivo puede también presentarse con valencia +4 formando el MnO_2 que es insoluble. Rara vez el agua contiene más de 1 ppm y requiere un pH ácido. La forma manganeso (Mn^{++}), que es más general por aireación se oxida y precipita con un color oscuro de MnO_2 . Se determina por oxidación a permanganato y colorimetría de la solución oxidada y espectrometría de absorción atómica.

1.3.2.8. Cloruros

El ión cloruro (Cl^-) forma sales muy solubles, suele asociarse con el ión Na^+ , esto en aguas muy salinas. Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm de cloruros, pero también se encuentran valores muy superiores fácilmente. Las aguas con cloruros pueden ser muy corrosivas debido al tamaño del ión que puede penetrar la capa protectora en la interfase óxido-metal y reaccionar con el hierro estructural. El ión cloruro se separa con filtros de carbono activado e intercambio iónico.

1.3.2.9. Sulfatos

El ión sulfato (SO_4^{2-}), corresponde a sales moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces tienen una concentración entre 2 y 250 ppm. En cantidades bajas no perjudica seriamente pero algunos centenares de ppm pueden disminuir la resistencia del hormigón. Su eliminación se realiza por intercambio iónico.

1.3.3. Parámetros Microbiológicos

1.3.3.1. Coliformes Totales

Los coliformes totales son un grupo de bacterias de la familia Enterobacterias y que han sido utilizadas durante muchas décadas como el indicador idóneo para el agua potable. El grupo se define como aeróbico y anaeróbico facultativamente, gram negativo, no formador de esporas, bacterias de forma redondeada que fermentan la lactosa del azúcar lácteo para producir ácido y gas en el plazo de 48 horas a 35 °C. Pocas bacterias distintas de las coliformes pueden metabolizar los lácteos; por esta razón, la lactosa se usa como base para la identificación. El grupo de coliformes totales incluye la mayoría de la especies de los géneros *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Welsiella* y

Escheridia coli. La mayoría de la bacterias están muy diseminadas en el ambiente, incluyendo el agua potable y las aguas residuales.

1.3.3.2. Coliformes Fecales y E. Coli

Los coliformes fecales son un subconjunto del grupo coliformes totales. La *Escheridia coli* es el mayor subconjunto del grupo coliformes totales. Se distinguen en el laboratorio por su capacidad para crecer a levadas temperaturas 44.5 °C y por la capacidad de la E. coli para producir la enzima glucoronidasa.

Ambos coliformes los fecales y la E. coli son mejores indicadores de la presencia de contaminación fecal humana y animal.(ARBOLEDA J., pp 20)

1.4. Tratamiento de Agua Potable

El tratamiento de agua potable es un conjunto de procesos químicos e hidráulicos, los mismos que son muy variados y se llevan a cabo para retirar sólidos contenidos en el agua, así como microorganismos patógenos que son perjudiciales para la salud de los humanos. Un proceso de tratamiento de agua potable va desde el más sencillo que puede ser un simple desinfección con cloro a procesos más avanzados que incluyen procesos de coagulación- floculación, sedimentación, aireación y filtración.

A continuación se describirá el tratamiento más usual que se le puede dar a una agua cruda para ser potabilizada:

1.4.1. Captación

Es una estructura civil donde llega el agua desde un cuerpo subterráneo en forma continua, segura y sin disminución de las condiciones hidrológicas, geológicas y ecológicas para su posterior transporte a las siguientes etapas.

1.4.1.1. Vertederos

Los vertederos son estructuras hidráulicas cuya función es controlar el nivel del agua en canales, embalses; medición de caudales, elevar el nivel del agua y evacuación de crecientes o derivaciones de un determinado caudal.

a) Tipos de Vertederos

➤ Según el Espesor de la Pared

-

Vertederos de Pared Delgada

Este tipo de vertedero es el más usado especialmente como aforador, debido a su fácil construcción e instalación. En los vertederos de pared delgada el contacto entre el agua y la cresta es sólo una línea es decir, una arista.

- Vertederos de Pared Gruesa

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. En los vertederos de pared gruesa el contacto entre el agua y la cresta es un plano.

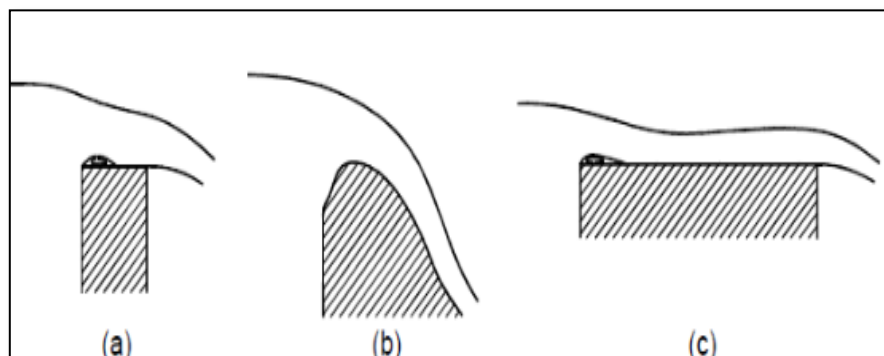


Figura 1-1: Tipos de Vertederos

Fuente: http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3956/6/BVCI0003320_20.pdf

➤ Según la altura relativa del umbral

- Vertedero libre

Este es un criterio de clasificación muy importante. En el vertedero libre el nivel de aguas abajo es inferior al de la cresta.

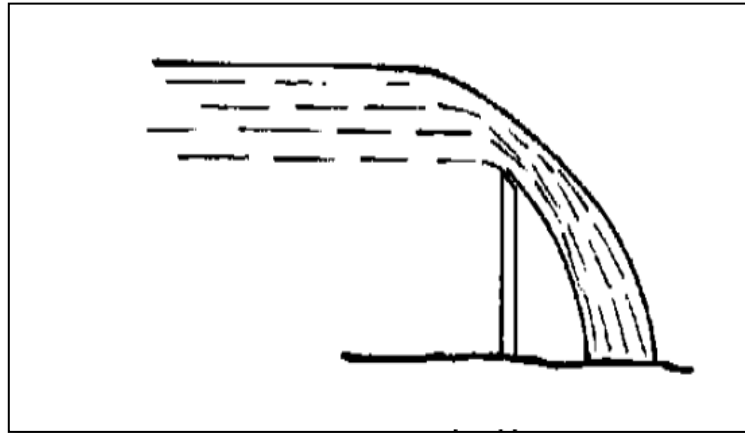


Figura 2-1: Vertedero Libre

Fuente: http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3956/6/BVCI0003320_20.pdf

- Vertedero sumergido

Un vertedero está sumergido cuando el nivel de aguas abajo es superior de la cresta del vertedero. La condición de sumergencia no depende del vertedor en sí, sino de las condiciones del flujo. Un mismo vertedero puede estar sumergido o no, esto depende del caudal que se presente. El vertedero sumergido puede ser de cualquier tipo o forma. En la Figura 3-1 se observa un vertedero sumergido en el cual H es la diferencia de nivel entre la superficie libre de aguas arriba y la cresta del vertedero, h es la diferencia de nivel entre la superficie libre de aguas abajo y la cresta del vertedero. Se denomina sumergencia a la relación entre h y H .

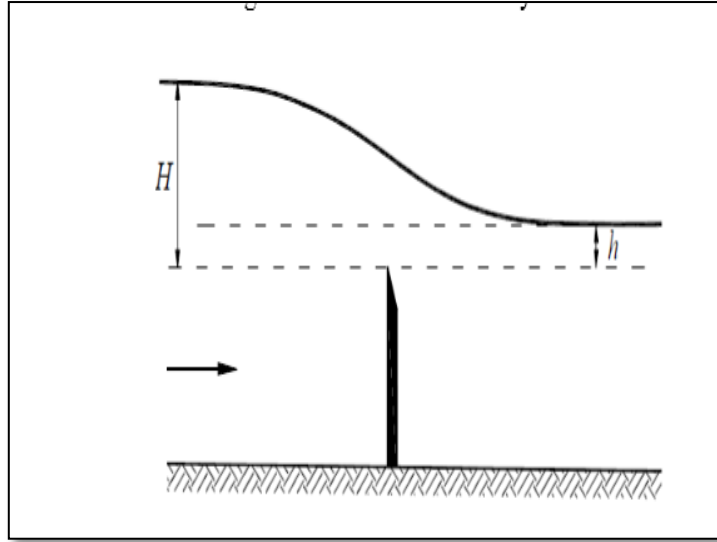


Figura 3-1: Vertedero sumergido

Fuente: http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3956/6/BVCI0003320_20.pdf

➤ Según la Forma

Según la forma del vertedero podemos encontrar formas rectangulares, trapezoidales, triangulares, circulares y parabólicas como se muestra en la siguiente figura:

Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\text{sen}\frac{\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Figura 4-1: Vertederos según su forma

Fuente: http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/3956/6/BVCI0003320_20.pdf

1.4.1.2. Rejillas

Un sistema de rejillas es empleado como pretratamiento y ayuda en la eliminación de sólidos de mayor tamaño que se encuentran presentes en el agua y pueden ser retenidos mediante un sistema de rejillas;

posteriormente son retirados para una correcta disposición final.



Figura 5-1: Sistema de Rejillas

Fuente: http://www.bvcooperacion.pe/bibliotecabitstream/123456789/3956/6/BVCI0003320_20.pdf

El sistema de rejillas protege bombas y tuberías de no sufrir daños por la presencia de residuos sólidos y está constituido por una serie de varillas dispuestas en forma paralela el espesor de la varillas es variable así tenemos: finas con un espesor menor a 1,5 cm; medianas con un espesor entre 1,5 a 5 cm y gruesas con un espesor mayor a 5 cm.

Existen dos tipos de rejillas: limpieza manual y limpieza automática.

a) Rejillas de Limpieza Manual.

Su uso es para plantas de tratamiento de tamaño pequeño y como su nombre lo indica el retiro de los residuos sólidos es de forma manual. El ángulo de inclinación de las rejillas manuales es de 30 a 45 grados con respecto a la horizontal.

b) Rejillas de Limpieza Automática.

Su uso se limita para plantas de tratamiento de gran tamaño; la colocación de estas rejillas pueden ser complemente vertical o con un ángulo de inclinación de 30 grados.

1.4.2. Aireación

La aireación es el tratamiento mediante el cual el agua es puesta en contacto íntimo con el aire con el fin de modificar las concentraciones de las sustancias volátiles contenidas en ella. (ROMERO, J. 1994, pp.210-212). De esta forma, las funciones más importantes de la aireación son:

- ✓ Transferir oxígeno al agua para aumentar la concentración de oxígeno disuelto.
- ✓ Disminuir la concentración de CO₂.
- ✓ Remover gases como metano, cloro y amoníaco.
- ✓ Oxidar hierro y manganeso.
- ✓ Remover compuestos orgánicos volátiles.
- ✓ Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores.

La aireación cumple su principal objetivo por medio del arrastre o barrido de las sustancias volátiles provocando un proceso de oxidación de los metales y gases, debido a mezcla turbulenta que ocurrió entre el agua con el aire. El agua aireada es dulce y por ende más agradable al paladar, los aireadores comúnmente más utilizados son los de toberas, cascadas, canales inclinados y aireadores de bandejas.

1.4.2.1. Tipos de Aireadores

En el tratamiento de agua dulce los aireadores por gravedad y por rocío han sido tradicionalmente para remover hierro, manganeso y sulfuro de hidrógeno. Estos aireadores utilizan la energía liberada cuando el agua pierde altitud al aumentar el área superficial aire-agua, por lo tanto se incrementa la concentración de oxígeno del agua. Su diseño es fácil y económico .

a) Aireador por Cascada o por Gravedad

La aireación por cascada consiste en dejar caer el agua en láminas o capas delgadas, sobre uno o más escalones de concreto. El aireador de cascada se diseña como una escalera; entre más grande sea el área horizontal, más completa es la aireación. La aireación ocurre en las áreas de salpicamiento en forma similar a la que ocurre en un río turbulento; por ello se acostumbra colocar salientes, bloques o vertedores en los extremos de los escalones.

La aireación en vertedores es factible cuando existe suficiente energía disponible; en ese caso el sistema es económico, no se requiere energía adicional y el mantenimiento es sencillo. Es posible mejorar la aireación creando turbulencia.

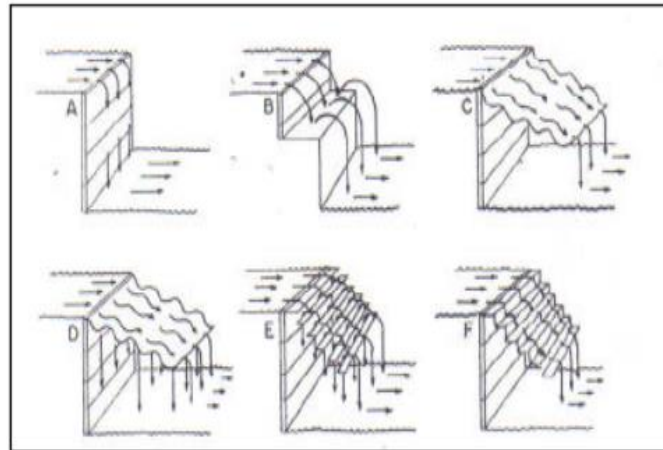


Figura 6-1: Aireación por cascada

Fuente: <http://www.elaguapotable.com/ALTERNATPOTAB.pdf>

b) Aireador de bandejas

Estos tipos de aireadores consisten en una serie de bandejas equipadas con ranuras, fondos perforados, sobre las cuales se distribuye el agua y se deja caer a un tanque receptor en la base. Es uno de los tipos de aireadores que se han venido utilizando desde la antigüedad, y que hoy en nuestros días sigue teniendo muy buena aceptación en el tratamiento de aguas por su costo, efectividad y fácil mantenimiento. (ROMERO, J. 1994. pp.215-223)



Figura 7-1: Torre de Aireación

Fuente: www.ingenieria hidraulica.com

1.4.3. Coagulación - Floculación

Los procesos de coagulación-floculación son ampliamente utilizados en la purificación del agua, el proceso consiste en la adición de un coagulante al agua el mismo que ayuda agrupar las partículas que se encuentra disueltas; formando masas de mayor tamaño que por su tamaño precipitan, dichas masas se conocen con el nombre de flóculos. Una vez que se añade el coagulante flocculate es necesario realizar una agitación la misma que será de gran ayuda en la formación de los flóculos.

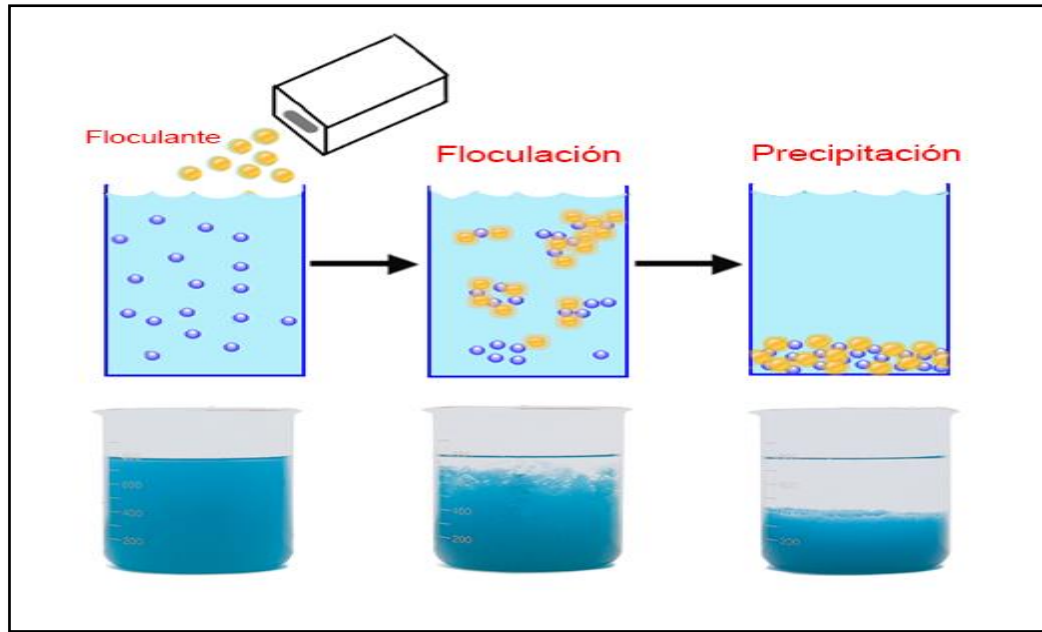


Figura 8-1: Proceso de Coagulación – Floculación

Fuente: www.ingenieriahidraulica.com

El proceso de coagulación – floculación es de gran ayuda para:

- ✓ Remoción de la turbiedad orgánica e inorgánica.
- ✓ Remoción del color verdadero y aparente.
- ✓ Eliminación de bacteria, virus y organismos patógenos susceptibles de ser eliminados por coagulación.
- ✓ Destrucción de algas y plancton en general.
- ✓ Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor.

1.4.3.1. Tipos de Coagulantes

Los coagulantes los podemos clasificar en dos grupos: los polielectrolitos y los coagulantes metálicos.

a) Coagulantes Polielectrolitos o Poliméricos

Un polímero se define como una sustancia formada por una cantidad de unidades básicas, llamadas monómeras, unidas por enlaces covalentes que se repiten sucesivamente. Los polímeros que se usan en las plantas de tratamiento son compuestos de alto peso molecular de 10^4 a 10^7 que se aplican en muy pequeñas concentraciones lo que compensa su alto precio.

De la investigación realizada por el centro de Ingeniería Sanitaria, Robert B. Taft, Estados Unidos se conoce:

- ✓ Los polielectrolitos usados en conjunto con los coagulantes metálicos producen un floc que sedimenta rápidamente.
- ✓ En algunos casos la dosificación de polielectrolitos en pequeñas cantidades reduce el gasto de coagulante.
- ✓ Las algas son rápidamente coaguladas con polielectrolitos catiónicos.
- ✓ Todos los polielectrolitos no son igualmente efectivos con todas las aguas.
- ✓ Los polielectrolitos deben añadirse en soluciones para asegurar una mezcla completa.

Dentro de los coagulantes polielectrolitos tenemos los polímeros naturales y sintéticos.

- Polímeros Naturales

Son los que se producen en las reacciones bioquímicas naturales de las plantas y animales como: almidón, proteínas, carbohidratos. Muchos de estos componentes tienen las propiedades coagulantes y son usados por los nativos en forma empírica para clarificar el agua como la penca de la tuna o nopal. Los que han dado mejor rendimiento son los compuestos algínicos derivados de la tuna y el almidón.

Los derivados de la tuna son polvos blancos solubles en agua, han sido probados en agua turbia artificial y natural dando resultados comparables o mejores que los de los polímeros sintéticos. Una de las ventajas de los polímeros naturales es su baja toxicidad en muchos casos son empleados como alimentos o aditivos alimenticios.

- Polímeros Sintéticos

Son compuestos orgánicos producidos por medio de la transformación química de los derivados del carbón y del petróleo; incluye la mayoría de los polímeros manufacturados por la industria, la mayoría se encuentra en forma de polvo seco, otros son líquidos con concentraciones del 10 al 60 % de polímeros activos.

La poliacrilamida es típicamente un polímero no iónico, tiene la ventaja de que permite sintetizar una gran variedad de compuestos con distintas propiedades y aplicaciones.

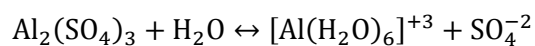
b) Coagulantes Metálicos

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

- Coagulantes con Sales de Aluminio

Las sales de aluminio forman un floc ligeramente pesado. Las mas conocidas de estas sales son: sulfato de aluminio, sulfato de aluminio amoniacal y el cloruro de polialuminio.

- ❖ Sulfato de Aluminio.- es un polvo de color marfil, ordinariamente hidratado, al almacenarlo suele convertirse en terrones relativamente duros. Cuando está en solución se encuentra hidrolizado, es decir asociado con el agua como se muestra en la siguiente ecuación:



En realidad, ésta es una propiedad común con todos los cationes metálicos, que no pueden permanecer aislados cuando están rodeados de moléculas de agua. Los iones de aluminio hidratados $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+3}$ actúan como un ácido y reaccionan con las bases que se encuentran en el agua así:



Los compuestos inestables se hidrolizan y forman compuestos polinucleares que son hidróxidos de aluminio insolubles que precipitan.

- ❖ Policloruro de Aluminio.- el cloruro de polialuminio conocido con sus siglas PAC es un derivado polimérico del aluminio que existe desde hace muchos años en Europa y Japón y que ahora también se ha introducido en el mercado norteamericano. Los beneficios son: mejor formación del floc, amplio rango de pH, menor generación de lodos y poca necesidad de usarlos junto con polielectrolitos. La desventaja es su mayor costo en comparación con los otros coagulantes.

- Coagulantes con Sales de Hierro

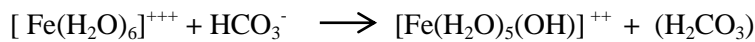
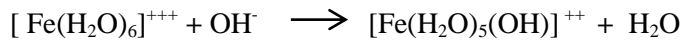
La ventaja sobre las sales de aluminio en algunos casos es que forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento y se puede trabajar en un rango de pH más amplio. Las sales más conocidas de hierro son: el cloruro férrico, el sulfato férrico y el sulfato ferroso.

- ❖ Cloruro Férrico.- Se consigue en tres formas, como cristales amarillos o cafés, como cristales anhidros de color verde oscuro o como solución del 35 a 45 %. Cualquiera que sea su forma se aplica en solución del 2 al 20 % según el tamaño de la planta y del aparato dosificador. Se puede trabajar a un pH bajo como 4 o alto como 11. Los lodos generados son muy corrosivos de color café oscuro.
- ❖ Sulfato Férrico.- Se encuentra en su forma anhidra como $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, pero comúnmente en su forma hidratada como $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. La adición de una cal en combinación con el coagulante, resulta en un rango más amplio del Ph que puede ir desde 3,5 hasta 11.

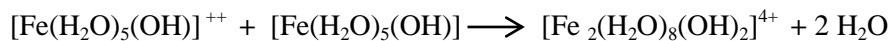
- ❖ Sulfato Ferroso.- Es la fuente mas barata de hierro como coagulante; por lo general se lo usa hidratado como $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y se conoce con el nombre de coperas. Su desventaja es que debe usarse con cal. El sulfato ferroso se usa para agua turbia, fuertemente alcalina, con ph de 8; por tanto es inadecuada para tratar agua blanda si el contenido de color es alto.

La química de coagulación del hierro es bastante similar a la del aluminio III. El hierro III en solución acuosa esta hidrolizado $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+++}$ y al ser agregado al agua reacciona primero con la alcalinidad (OH), (CO_3) (HCO_3) y luego con la molecula de agua.

Las reacciones con la alcalinidad son:

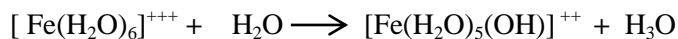


El $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})]^{++}$ se hidroliza formando sucesivamente $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})_2]^{2+}$ y $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3$. La reacción de estos productos monoméricos entre si crea poliméricos.



Esta reacción continua hasta llegar como producto final al hidróxido de hierro neutro $\text{Fe}(\text{OH})_3$ o negativo $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$.

Las reacciones del $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{+++}$ con la molécula de agua son tipo ácido base :



Al igual que la reacción de alcalinidad el $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})]^{++}$ hasta formar hidróxidos neutros o negativos y se polimeriza .

1.4.4. Sedimentación

El proceso de sedimentación ayuda a la separación de los flóculos formados en la etapa anterior mediante la sedimentación de los mismos en el fondo del tanque. Los sólidos sedimentados son extraídos por medio de un sistema de drenaje y el agua clarificada es separada hacia otra unidad.

Las unidades de sedimentación consta de los siguientes componentes:

- Zona de entrada.- Es la estructura hidráulica de transición que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.
- Zona de sedimentación.- Consta de una canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuado para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal en sedimentadores rectangulares y vertical en sedimentadores circulares.
- Zona de salida.- Constituida por un vertedero o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el agua tratada sin perturbar la sedimentación de las partículas sedimentadas.
- Zona de recolección de lodos.- formada por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, una tubería y una válvula para su evacuación periódica.

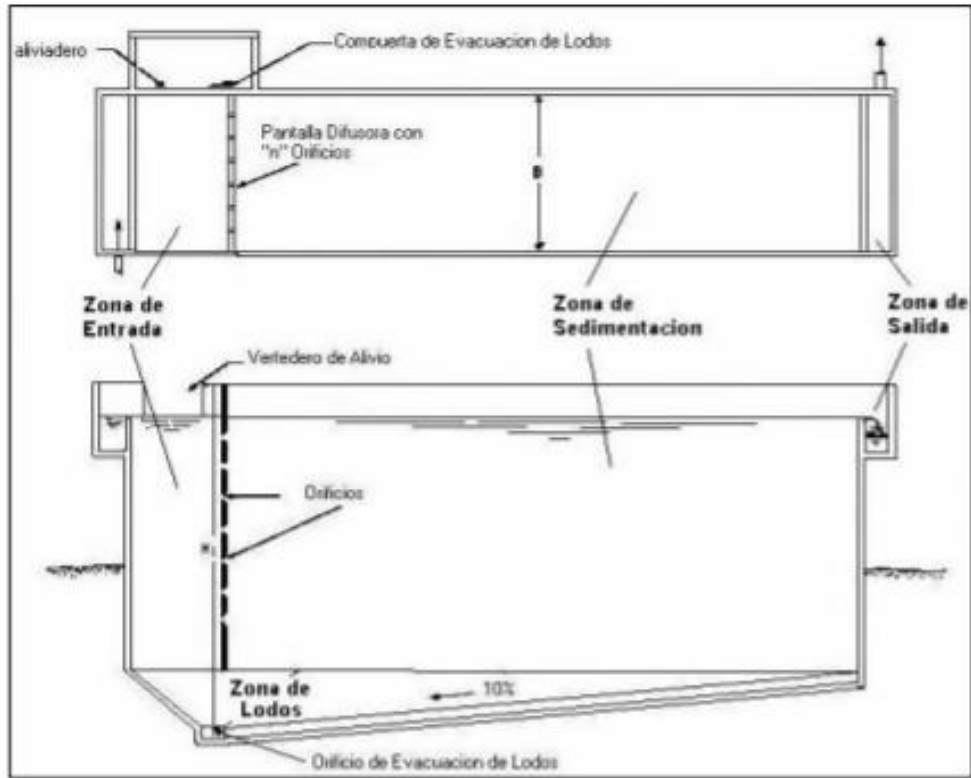


Figura 9-1: Sedimentador (corte longitudinal)

Fuente: Aurelio Hernandez

1.4.4.1. Tipos de Sedimentadores

Los tipos de tanques de sedimentación empleados en las plantas de potabilización son rectangulares o circulares con dispositivos mecánicos para la recolección de lodos. La selección del tanque depende del tamaño de la instalación, las condiciones locales del terreno, el sembrado de todas las unidades de tratamiento y de la estimación de los costos, entre otros. Se deberá disponer de dos o más tanques con objeto de que el proceso permanezca en funcionamiento mientras que uno de ellos esté fuera de servicio por reparación o mantenimiento. En plantas grandes, el número de tanques está determinado principalmente por las limitaciones del tamaño.

a) Sedimentador Rectangular

Los tanques rectangulares se emplean en la sedimentación primaria y la clarificación. Pueden ser implementados como una sola unidad o varias con una pared común entre ellos, lo que implica una menor área y costo. Los tanques se diseñan para que el agua fluya lentamente con un mínimo de corto circuitos. El tanque de la Figura 10-1, que se muestra a contiene mamparas para guiar al flujo en forma vertical y coleccionar el sobrenadante en la periferia, y rastras montadas en cadenas sin fin que transportan suavemente los lodos hasta la tolva.

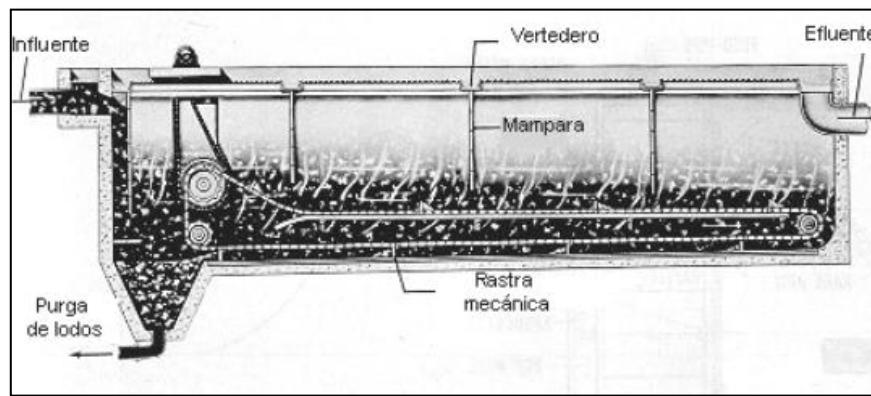


Figura 10-1: Sedimentador Rectangular

Fuente: Vera N.,2007

b) Sedimentador Circular

La Figura 11-1 que se observa muestra un clarificador circular donde el influente entra y sale mediante canales situados en la periferia. El brazo para remover el lodo, gira lentamente alrededor de un eje y es un tubo con aperturas. Este mecanismo en lugar de actuar por arrastre, succiona los sólidos y los transporta a la parte inferior del tanque. En la otra figura se ilustra un mezclador rápido en línea, un floculador con aspas perpendiculares al flujo y a un clarificador de tipo cuadrado. El agua entra al clarificador por el centro y es llevada al fondo por medio de una mampara circular. El flujo se desplaza en forma radial desde el centro y rebosa a través de vertedores periféricos. Los lodos son arrastrados hacia una tolva para ser descargados mediante un rastillo en las esquinas.

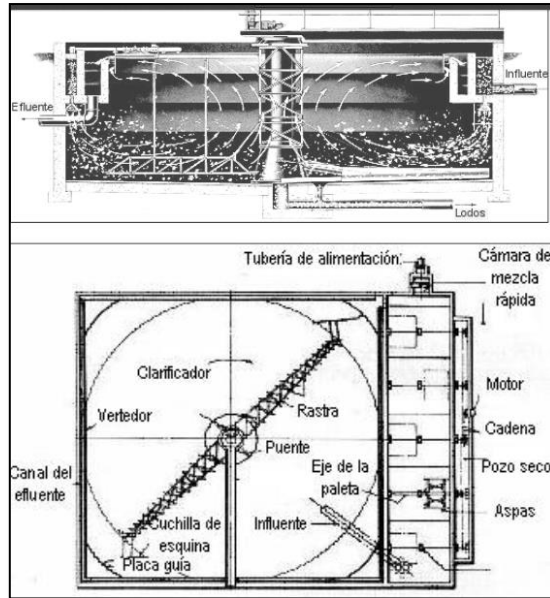


Figura 11-1: Sedimentador Circular

Fuente: Vera N.,2007

1.4.5. Filtración

La filtración consiste en hacer pasar el agua a través de medios filtrantes granulares que pueden ser arena, grava, zeolita o carbón activado con la finalidad de eliminar cualquier tipo de impureza que no pudo ser eliminadas en las etapas anteriores. Las impurezas que pueden ser eliminadas son: partículas de arcillas, fangos, precipitados de aluminio o hierro utilizados en la coagulación, sustancias coloidales y microorganismos como bacterias, virus y quistes protozoicos.

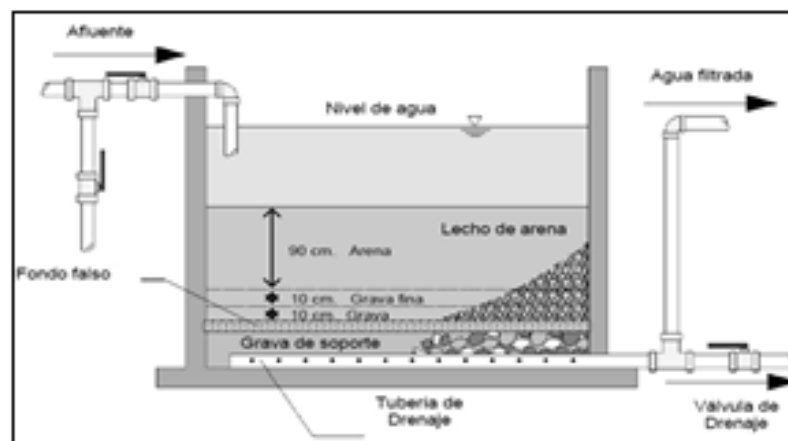


Figura 12-1: Filtración con Arena de medio Filtrante

Fuente: Jorge Arboleda Valencia

En la filtración del agua potable se utilizan diferentes filtros como: filtros de lecho granular y filtros de precapa que por lo general usan como medio filtrante arena, carbón de antracita, carbón granular activo o una combinación de ellos.

Un filtro también puede describirse por la presión hidráulica empleada para pasar el agua a través del lecho filtrante así tenemos: filtros de gravedad y filtros a presión .

Otros tipo de filtro está en función de la tasa de filtrado así tenemos: filtros rápidos y filtros lentos. Finalmente la filtración puede clasificarse como filtración profunda, si los sólidos se remocionan dentro del material granular; o torta de filtrado si los sólidos se remocionan en toda la superficie del material granulado. En general en la filtración los medios filtrantes más utilizados son:

1.4.5.1. Grava

Como medio filtrante la grava ayuda a la eliminación de turbidez y de materia disuelta que se adhiere a la superficie de las partículas que van asentándose. Las propiedades físicas y químicas son importantes; este medio debe ser duro y libre de partículas sólidas.

1.4.5.2. Arena

Cerca del 99% de el agua purificada en el mundo se obtiene pasando el agua por filtros rápidos de arena; pues es el lecho más utilizado. Las arenas son utilizadas como lecho filtrante para depuración y potabilización de las aguas reteniendo los flóculos de tamaños muy pequeños que no son separados por decantación

1.4.5.3. Carbón activado

El carbón activado se compone de 75 a 80 % de carbón, 5 a 10 % de cenizas; se caracteriza por su pequeño y homogéneo calibre y su estructura interna formada por un gran número de poros de tamaños similares que puede alcanzar una superficie interna de 500 y 1500 m²/g

El carbón activado es utilizado en el tratamiento de aguas como medio filtrante debido a su gran capacidad en absorción de diversos elementos como sustancias halógenas, sustancias generadoras de malos olores y sabor en el agua, levaduras, microorganismos, materia orgánica, pesticidas,

herbicidas. Otra razón por la cual el carbón es muy útil como medio de filtración es que la limpieza del mismo es rápida y sencilla.

Los lechos de carbón activo se instalan en columnas de filtrado con o sin presión; en combinación con filtros de arenas actuando como adsorbente o individualmente actuando como filtro mecánico y adsorbente.

1.4.5.4. Zeolita

La zeolita posee una estructura a base de minerales volcánicos y cristales que funcionan como intercambiadores de iones. A su vez poseen canales de materiales microporosos. En el intercambio de iones los canales absorben los elementos contaminantes del agua purificándola y filtrándola.

De acuerdo al tipo de zeolita empleada se pueden extraer diferentes minerales del agua, entre ellos el calcio. Cuando el calcio se extrae del agua se logra un ablandamiento progresivo en la dureza del agua. Los poros de la zeolita con mayor volumen son aquellos que benefician en la retención de partículas ya que logran delimitar su paso sin diferenciar entre tipo orgánico o amoniacal.

En los sistemas de filtrado la zeolita puede aplicarse de manera sencilla en el interior del filtro permitiendo el control de la coloración del agua y actuando como un filtro biológico. La zeolita se debe cambiar cada tres meses para evitar que ésta pierda sus características de filtración y se logre una purificación óptima en el agua.

1.4.6. Desinfección

La desinfección del agua se refiere a la destrucción de microorganismos patógenos causantes de enfermedades; dentro de los cuales tenemos bacterias, protozoarios, virus y trematodos.

Las condiciones que debe tener un desinfectante ideal para poder ser usado en plantas de purificación son:

- ✓ Debe ser capaz de destruir los organismos causantes de enfermedades.
- ✓ No debe hacer tóxica al agua o peligrosa para la salud; así como no debe alterar el sabor del agua.

- ✓ Debe ser de fácil obtención, sencillo manejo y bajo costo.
- ✓ Su concentración en el agua debe poderse determinar inmediatamente.
- ✓ Debe dejar su efecto residual para proteger el agua contra posteriores contaminaciones.

1.4.6.1. Tipos de Desinfección

La desinfección del agua la podemos dividir en natural y artificial. La primera se refiere a la muerte progresiva de las bacterias producidas por agentes naturales tales como la luz solar, la sedimentación, la filtración en la capas arenosas del suelo o la estabilización de la materia orgánica que disminuye la reserva de alimento para los microorganismos

La desinfección artificial puede realizarse mediante agentes físicos o químicos; dentro los físicos los más importantes son: el calor y los rayos ultravioletas. Los agentes químicos más importantes son: la plata ionizada, el ozono y los halógenos como el cloro, bromo y yodo.

a) Desinfección Física

❖ Rayos Ultravioleta

Se hace pasando una lámina de agua delgada bajo una fuente de rayos ultravioleta. La penetración de los rayos, así como la eficiencia de la desinfección depende la turbiedad del líquido. Se usa principalmente en piscinas, no deja efecto residual ni se puede determinar en el agua la cantidad aplicada de forma fácil; por tanto no es aconsejable para acueductos.

❖ Calor

Su uso es principalmente doméstico no aplicable a plantas de tratamiento. Se necesita dw entre 15 a 20 minutos de temperatura de ebullicion para destruir cualquier microorganismo patógeno. El agua sin embargo adquiere un sabor peculiar debido a la expulsión de los gases por el incremto de la temperatura.

b) Desinfección Química

➤ Cloración

La cloración es el proceso que hasta el presente reúne las mayores ventajas como son: es eficiente, fácil de aplicar y deja un efecto residual que se puede medir por sistemas muy simples y al alcance de todos.

Para la desinfección de agua se puede emplear cloro gaseoso generado a partir de la vaporización de cloro líquido, hipoclorito de sodio en estado líquido o hipoclorito de calcio sólido en forma granular.

El hipoclorito de sodio viene en la presentación líquida con concentraciones entre el 2,5 y 15 % siendo la concentración más común de 10 %; es de fácil manejo, no es tóxico a menos que sea ingerido de fácil transporte, no requiere de equipos sofisticados para su aplicación. Tiene la desventaja de tener poca estabilidad, tiene una baja concentración de cloro activo.

❖ *Cloro Gas*

El cloro gaseoso es aconsejable su uso para niveles de alta complejidad; el cloro gaseoso es generado a partir del cloro líquido almacenado bajo presión en cilindros; al abrir la válvula del cilindro la presión disminuye y se obtiene el cloro gas que es succionados por los aparatos clorados e inyectado en el agua. La presión en el recipiente depende de la temperatura y de la cantidad de cloro que contenga.

❖ *Cloro Sólido*

El cloro sólido es el hipoclorito de calcio con una pureza del 68 %; su empleo es recomendable en niveles de baja complejidad y en plantas de tratamiento de tamaño pequeño, piscinas y pozos, pues los hipocloradores son mas sencillos de manejar. El hipoclorito de calcio tiene alta solubilidad, de fácil transporte, no es tóxico a menos que sea ingerido, no requiere de equipos sofisticados para su dosificación.

❖ *Cloro Líquido*

El hipoclorito de sodio viene en la presentación líquida con concentraciones entre el 2,5 y 15 % siendo la concentración más común de 10 %; es de fácil manejo, no es tóxico a menos que

sea ingerido de fácil transporte, no requiere de equipos sofisticados para su aplicación. Tiene la desventaja de tener poca estabilidad, tiene una baja concentración de cloro activo.

➤ Bromo

El bromo al igual que otros halógenos tiene propiedades desinfectantes; si bien la eficiencia es comparable con la del cloro y yodo en la destrucción de microorganismos, pero su costo es más elevado que dichos compuestos y su manejo especialmente el bromo produce menor irritación de los ojos que el cloro.

➤ Yodo

En los últimos años se ha venido hablando del yodo como posible alternativa para el cloro. Un estudio realizado en Chile por Unda y sus colaboradores en 1968 demostró que concentraciones por debajo de 0,5 mg/l son aceptables para la mayoría de consumidores. Una dosis de 0,5 mg/l según Chang, produce la muerte de 99,99 % de E. Coli, de virus poliomefítico tipo I, en 10 minutos de quiste de amebas, lo cual se compara ventajosamente con el cloro.

La mayor dificultad en su uso está en el precio pues es varias veces más costoso del cloro y en que se desconoce hasta el momento los efectos fisiológicos que pueda producir su ingestión continuada, en especial en el funcionamiento de la tiroides.

Por tanto mientras no se realice mas investigaciones sobre los efectos fisiológicos del yodo, se seguirá usando para la desinfección de piscinas y para emergencias.

➤ Ozono

Puede esterilizarse el agua por medio de ozono (O_3), gas inestable que debe ser generado en aparatos especiales por descargas eléctricas en cámaras de aire seco. El ozono debe aplicarse directamente del ozonizador al agua tratada en una cámara de contacto especialmente diseñada para tal efecto, como una columna empacada, un reactor a dispersión de burbujas o un tubo en “U” para incrementar la cinética de transferencia del O_3 . Se recomienda mantener una concentración residual de 0.2 a 0.4 mg/l durante 4 minutos

Debe tenerse en cuenta que entre los subproductos de la desinfección que se forman con el ozono está el ión BrO_3 (bromato), considerado como cancerígeno. Se recomienda una concentración máxima admisible de 25 mg/l.

En caso de implementar la ozonización debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ La planta debe contar con un suministro de energía durante las 24 horas del día.
- ✓ Debe contarse con personal técnico altamente calificado para el manejo de los equipos.
- ✓ Debido a que el ozono no proporciona una concentración residual, debe emplearse un desinfectante secundario que genere este efecto residual con el fin de proteger el agua en el sistema de distribución.

➤ Plata Ionizada

Los iones de plata son un desinfectante utilizado en algunos países europeos especialmente en plantas de tratamiento para usos industriales. El sistema conocido como Katadyn es mas caro que la cloración y sí deja efectos residuales.

1.5. Muestreo

El muestreo consiste en tomar un volumen pequeño de agua de la fuente original para ser llevada al laboratorio. Es una de las etapas más importantes para el tratamiento de agua; ya que mediante el mismo se logrará conocer las características físicas, químicas y microbiológicas que inicialmente tiene el agua cruda. Por lo tanto la muestra tomada debe ser representativa, homogénea y reunir todas las características de la fuente original.

Un correcto muestreo garantiza la efectividad del diseño de la planta de tratamiento; porque en base a las características que presente la muestra tomada se escogerá el tratamiento más idóneo que permita obtener una agua de calidad y apta para el consumo humano.

1.5.1. Toma de Muestra

La toma de muestra es una operación importante para el desarrollo del proyecto y debe manejarse con mayor cuidado, dado que influye en los resultados analíticos y su interpretación. De una manera general debe realizarse una previa preparación de cómo y dónde se va a realizar el muestreo para que la muestra tomada sea homogénea y representativa.

1.5.1.1. Tipos de muestras

- a) **Muestra Simple:** Se la toma en un tiempo y lugar explícito para su análisis individual, se recomienda cuando se tiene caudales constantes y cuando la carga contaminante del agua no varía. Una muestra simple o puntual se la considera representativa en el caso de aguas superficiales, aguas de suministro y en algunos casos aguas residuales.

- b) **Muestra Compuesta:** Es recomendable cuando no se tiene un caudal constante y la carga contaminante también es variable, se la obtiene por mezcla y homogeneización de muestras simples recogidas en el mismo punto y en distintos tiempos, es decir durante el día se van tomando diferentes alícuotas en diferentes proporciones dependiendo del caudal que se tenga y al final del día se mezclan y se obtiene la muestra compuesta.

- ❖ Envases para la toma de muestras.

Los recipientes en que se recogen las muestras deberán ser de vidrio o plástico y cumplen con los siguientes requisitos:

- No desprender materia orgánica o elementos que puedan contaminar la muestra recogida.
- Que la adsorción ejercida por sus paredes sea mínima sobre cualquiera de los componentes presentes en la muestra de agua.
- Que el material constituyente del recipiente no reaccione con los componentes de la muestra.
- Deberán poderse cerrar y sellar herméticamente.

1.6. CAUDAL

Se define como caudal al volumen de agua que llega a la planta de tratamiento por unidad de tiempo; el caudal es uno de los parámetros más importantes para el diseño de plantas de tratamiento pues en base al mismo y otros parámetros se dimensionaran cada una de las unidades del sistema de tratamiento.

La ecuación que nos permite conocer el caudal es :

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

(Ecuación 1-1)

Donde:

Q: Caudal (l/s)

V: Volumen (l)

t: Tiempo (s)

1.6.1. Medición de Caudales

1.6.1.1. Método Volumétrico

Es el método más utilizado y su procedimiento es relativamente sencillo; consiste en tomar un determinado volumen en un recipiente y mediante la ayuda de un cronómetro determinar el tiempo que se lleva en tomar dicho volumen, luego aplicamos la ecuación que hace relación el volumen y el tiempo y obtenemos el caudal. El procedimiento se repite varias veces y al final se obtiene un promedio.

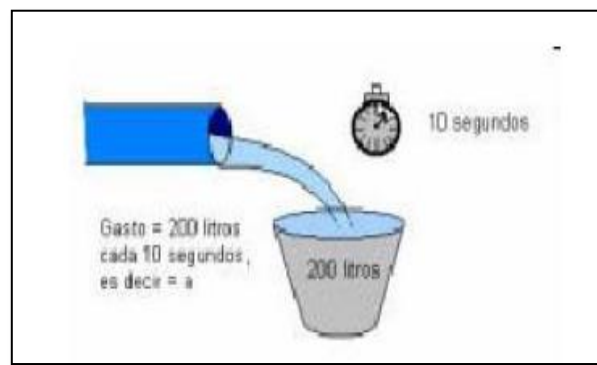


Figura 13-1: Método Volumétrico

Fuente: Aurelio Hernandez

1.6.1.2. Método Superficie - Velocidad

Este método depende de la medición de la velocidad media de la corriente y del área de la sección transversal del canal.

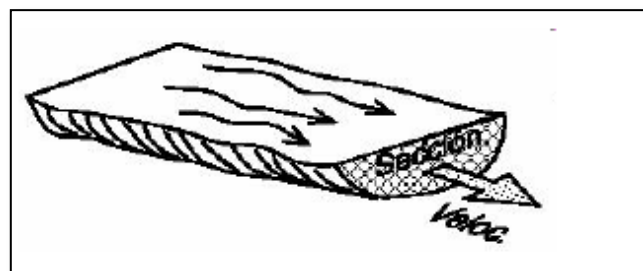


Figura 14-1: Método Superficie -Volumen

Fuente: Aurelio Hernández

Se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$Q = (A) (v) \quad \text{(Ecuación 2-1)}$$

Dónde :

Q: Caudal, m³/s ó l/s cuando la corriente es menor

A: Área de la sección transversal, m²

v: Velocidad media de la corriente, m/s

1.6.1.3. Caneleta Parshall

Se describe técnicamente como un canal Venturi o de onda estacionaria. El aforador está constituido por una sección de convergencia con un piso nivelado, una garganta con un piso en pendiente hacia aguas abajo y una sección de divergencia con un piso en pendiente hacia aguas arriba. Gracias a ello el caudal avanza a una velocidad crítica a través de la garganta y con una onda estacionaria en la sección de divergencia.

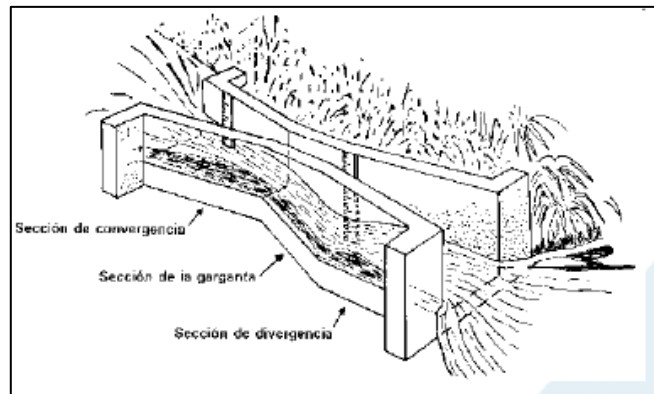


Figura 15-1: Caneleta Parshall

Fuente: Aurelio Hernández

1.7. Tuberías para el Transporte de Agua Potable

Los materiales comúnmente utilizados en el transporte de agua potable son: Cobre, el PVC, Polipropeno, Polietileno de alta densidad.

1.7.1. Polietileno de Alta Densidad

Pertenece al grupo de los polímeros, material plástico de alta resistencia al impacto y a los suelos abrasivos. Utilizado también para redes de Gas, eléctricas, y aguas servidas entre otros. Liviano y flexible, lo que permite trabajar con rollos de 50-100 metros fácilmente, reduciendo el número de uniones utilizadas y pérdida de presión por fricción. 100% atóxico, ya que no contiene sales de estaño ni plomo. Fácil instalación y bastante económico.

1.7.2. Tuberías de Cobre

De acuerdo a los informes emitidos por el National Bureau of Standards de EE.UU. la susceptibilidad al deterioro por corrosión del cobre por ataque bacteriológico y biológico es mínima. Estudios dicen que el empleo del cobre en tuberías de agua potable es absolutamente inofensivo e indica que la cantidad de cobre máxima permisible en el agua potable es de 2 mg/litro. Recientes investigaciones han demostrado que el cobre posee propiedades bactericidas y que un número importante de bacterias no pueden proliferar y aún más, sus colonias se reducen después del contacto con superficies de cobre, permitiendo alcanzar un cierto grado de control en la contaminación bioquímica del agua potable.

1.7.3. Tuberías de PVC

Las tuberías de PVC son una herramienta ideal para la gestión de los recursos hídricos durante generaciones, por la eficiencia y eficacia que aportan. Esto se debe a la perfecta estanqueidad de las uniones entre tuberías y a la elevada vida útil del material, aspectos que hacen mucho más efectiva la gestión de los recursos hídricos disponibles, ya que las fugas de agua se reducen a su mínima expresión. La calidad del agua que circula por el interior de las tuberías se conserva totalmente inalterada, gracias a que es un material homogéneo químicamente y resistente a la corrosión, es decir, sin recubrimientos ni protecciones interiores, por lo que no se producen degradaciones de la tubería, ni migraciones del material hacia el agua que transporta dicha tubería.

1.8. Diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable

Para el diseño de una planta de potabilización es importante realizar estudios y la selección adecuada de procesos para conseguir agua de calidad a un costo eficaz y apta para el consumo humano cumpliendo con la Norma NTE INEN 1108:2011 Agua Potable. Requisitos, Segunda Revisión sobre la calidad de Agua Potable.

1.8.1. Población Futura

Para la determinación de la población futura, se tomará en cuenta la población actual y el valor de la tasa de crecimiento proporcionada por los datos del último censo realizado en nuestro país.

Para obtener la población futura se trabaja con el método de crecimiento geométrico, debido a que la población aumenta constantemente y la relación es la siguiente:

$$P_f = P_a[1 + (r/100)]^t$$

(Ecuación 3-1)

Donde:

P_a : Población actual, (hab).

P_f : Población futura, resultado de la proyección, (hab).

r : Tasa media anual de crecimiento, (%).

t : Número de años que se va a proyectar la población, (años).

1.8.2. Dotación de Agua

Es la cantidad de agua indispensable para satisfacer las necesidades básicas que tiene un habitante.

1.8.2.1. Dotación Básica

Se define como dotación a las cantidades de agua diariamente consumidas en las poblaciones, se expresa de la siguiente manera:

$$D_B = \frac{V_{\text{agua } c}}{P_a}$$

(Ecuación 4-1)

Donde:

D_B : Dotación básica, (l/hab × día).

$V_{\text{Agua } c}$: Volumen de agua consumida, (l/día).

P_a : Poblacion actual.

1.8.2.2. Dotación Futura

Resulta del producto entre la dotación básica y un factor de mayorización que incluye los consumos comerciales, institucionales e industriales.

$$D_{MF} = f_m \times D_B$$

(Ecuación 5-1)

Donde:

D_{MF} : Dotacion futura, (l/hab × día).

f_m : Factor de mayorización, (adimensional).

D_B : Dotación básica, (l/hab × día).

1.8.3. Gastos

Se refiere a los caudales necesarios para conocer el caudal de diseño para satisfacer el tiempo de proyección del sistema de tratamiento de agua potable.

1.8.3.1. Gasto Medio Diario (Q_{md})

Es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de la población en un día de consumo promedio.

$$Q_{md} = \frac{P_f \times D_f}{86400} \quad \text{(Ecuación 6-1)}$$

Donde:

Q_{md} : Gasto medio diario, (l/s). 86400: (s/d).

D_f : Dotación futura, (l/hab/día).

P_f : Población futura, (hab).

1.8.3.2. Gasto Máximo Diario (Q_{Md})

También se utiliza para calcular el volumen de extracción diaria de la fuente de reserva, el equipo de bombeo, la conducción y el tanque de regularización y almacenamiento.

$$Q_{Md} = k_1 \times Q_{md} \quad \text{(Ecuación 7-1)}$$

Donde:

Q_{Md} : Gasto máximo diario, (l/s).

k_1 : Coeficiente de variación diaria, adimensional; $k_1 = 1,30$ a $1,50$

Q_{md} : Gasto medio diario, (l/s).

Tabla 1-1: Valores del Coeficiente k_1 .

Población (habitantes)	Coeficiente k_1
Hasta 2.000	1,30 – 1,5
De 2.001 a 10.000	1,5 – 1,60

Fuente: CPE INEN 5. 1997. Parte 9.2. Primera revisión.

1.8.4. Caudales de Diseño

La estructura de la captación se la diseñará con una capacidad semejante a 1,5 veces el caudal del gasto máximo diario.

$$Q_D = 1,5 \times Q_{Md}$$

(Ecuación 8-1)

Donde:

Q_{Md} : Gasto máximo diario, (l/s).

Q_D : Caudal de captación, (l/s).

1.8.5. Diseño de la Torre de Aireación

1.8.5.1. Cálculos de Diseño para una Torre de Aireación

a) Área total del Aireador

$$A_T = \frac{Q_D}{C}$$

(Ecuación 9-1)

Donde:

A_T : Área total del aireador, (m²).

Q_D : Caudal de diseño, (l/s).

C : Carga hidráulica, (l/m²×s).

Tabla 2-1. Parámetros de Diseño para Aireadores de Bandeja

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Carga hidráulica TA Para caudales pequeños	9-10	(m ³ /m ² × s)
Numero de bandejas	3 – 9	
Altura total del aireador	2 – 2,5	M
Lecho de contacto:		
Espesor	15 – 30	cm
Coke o piedra, diámetro	4 -15	cm
Orificios de distribución		
Diámetro	1 – 1,2	cm
Separación	2,5-5	cm
Profundidad de agua en la bandeja	15-30	cm
Separación entre bandejas	30 – 75	cm

* Valores recomendados por Feachem R et al. (1977).

** Valores recomendados por la AWWA Water Quality and Treatment (1977).

Fuente: ROMERO, J. 1999. Purificación del Agua.

b) Área de cada Bandeja

La forma de las bandejas serán cuadradas y el área será el resultado de multiplicar lado por lado.

$$A_I = L \times L \quad (\text{Ecuación 10-1})$$

Donde:

A_I : Área de cada bandeja del aireador, (m²).

L : Lado de cada unidad de bandeja, (m).

c) Número de Bandejas Requerida

$$N_B = \frac{A_T}{A_I} \quad (\text{Ecuación 11-1})$$

Donde:

A_T : Área total del aireador, (m²).

A_I : Área de cada bandeja del aireador, (m²).

N_B : Número de bandejas, (adimensional).

d) Tiempo de Exposición

$$t_{eA} = \sqrt{\frac{2 \times H_T \times N_B}{g}}$$

(Ecuación 12-1)

Donde:

t_{eA} : Tiempo de exposición, (s).

H_T : Altura total de la torre, (m).

N_B : Número de bandejas, (unidad).

g : Gravedad, (9,8 m/s²).

e) Caudal sobre cada bandeja

$$Q_B = L \times A_o \times \sqrt{2 \times g \times H_{H2O}}$$

(Ecuación 13-1)

Donde:

Q_B : Caudal sobre cada bandeja, (l/s).

L : Lado de la bandeja, (m).

A_o : Área de cada orificio, (m^2).

H_{H_2O} : Altura de agua sobre las bandejas, (m).

1.8.5.2. Cálculo de la Bomba

a) Cálculo de las Pérdidas Primarias

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - H_{r_{1-2}} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

(Ecuación 14-1)

Donde:

P : Presión atmosférica, (atm)

v : Velocidad del agua, (m/s)

g : Gravedad, (m/s^2)

$H_{r_{1-2}}$: Suma de las pérdidas primarias en el punto 1 y 2

$$h_{fL} = f \frac{Lv^2}{\phi 2g}$$

(Ecuación 15-1)

Donde:

f : Número de fanning

v : Velocidad del agua, (m/s)

g : Gravedad, (m/s^2)

h_{fL} : Pérdidas primarias o longitudinales

b) Cálculo de las Pérdidas Secundarias Succión - Descarga

Estas pérdidas, que tienen lugar en los cambios de sección y dirección de la corriente, en las contracciones, ensanchamientos, codos, diafragmas, válvulas de diferentes tipos, etc.; en general en todos los accesorios de tuberías. Estos elementos producen una perturbación de la corriente que origina remolinos y desprendimientos, intensificando las pérdidas.

Tabla 3-1: Coeficientes de Pérdidas para Accesorios.

ACCESORIOS		DIÁMETRO NOMINAL								
		½	¾	1	1 1/2	1 ¼	2	2 1/2-3	4	
L/D		VALORES DE K								
Valv. de compuerta (abierta)	8	0.22	0.2	0.18	0.15	0.14	0.12	0.12	0.11	
Valv. de globo (abierta)	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	
Valv. de retención horizontal (check)	100	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	
Valv. de retención horizontal oscilatoria (check)	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	
Valv. de pie de disco (de huso) con colador	420	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	
Valv. de pie de disco con bisagra	75	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	
Codos Estándar	90 °	30	0.81	0.75	0.69	1.5	0.63	0.95	0.54	0.51
	45 °	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27
	90 ° radio largo	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27
	180 °	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.9	0.85
Curvas de 90°		20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34
Conexión al tanque		30	0.35	0.9	1.0	1.05	0.4	0.5	0.7	0.6

Fuente: <http://es.slideshare.net/alucarddns/modelamiento-de-redes-de-agua-a-presin>

De uso universal en el mundo entero en los libros y formularios de hidráulica, y análoga a la fórmula de Darcy -Weisbach para las pérdidas secundarias, es la siguiente:

$$h_{pa} = k \frac{v^2}{2g}$$

(Ecuación 16-1)

Donde:

h_{pa} : Pérdida de carga secundaria o por accesorios.

k: Coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria.

v: Velocidad media en la tubería, si se trata de codos, válvulas, etc.

Si se trata de un cambio de sección como contracción o ensanchamiento, suele tomarse la velocidad en la sección menor. Lo correcto en un manual de hidráulica será indicar junto al valor de λ la velocidad v que hay que tomar en cada caso.

c) Cálculo de la Potencia de la Bomba

Para calcular la potencia de la bomba se realiza la sumatoria de las pérdidas primarias y secundarias $H_{rt_{1-2}}$ (m).

Luego para la selección de la bomba, se toma los valores de la sumatoria de las pérdidas primarias y secundarias $H_{rt_{1-2}}$ (m) y el caudal (m^3/h), y se ubica en el catálogo PEDROLLO.

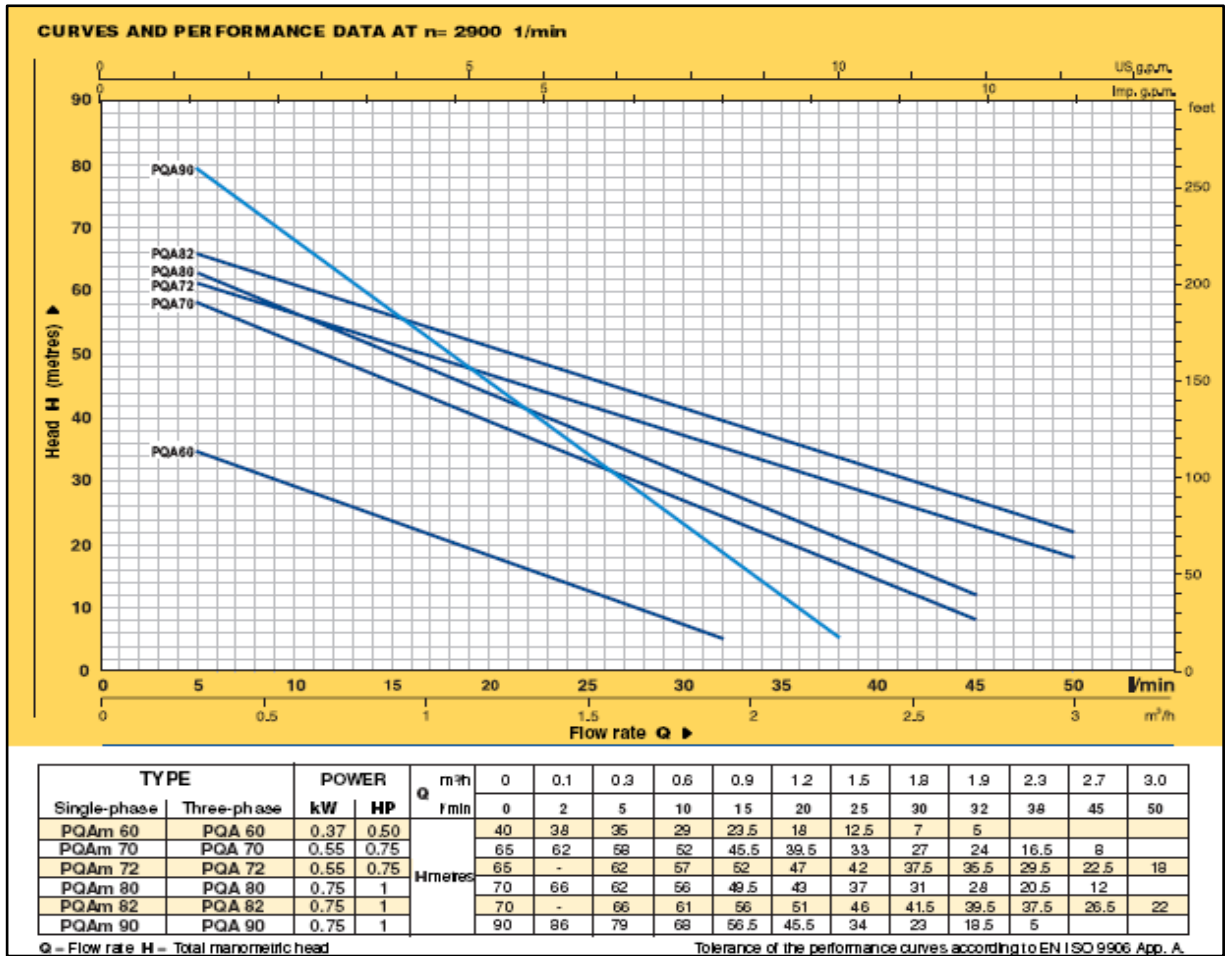


Figura 16-1: Catálogo Pedrollo

Fuente: https://issuu.com/edarvico.info/docs/curvas_pedrollo_general_2010/35

1.8.6. Desinfección

Este proceso es necesario porque no es posible asegurar la remoción total de los microorganismos por los procesos físico-químicos, usualmente utilizados 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.

1.8.6.1. Criterios de Diseño

a) Selección del Desinfectante:

- Se elige en función de la capacidad de la planta; siendo recomendable para plantas de tratamiento pequeñas el hipoclorito de calcio o de sodio y para plantas medianas a grandes el cloro gas.
- Se toma en cuenta la complejidad de sus instalaciones; siendo de fácil construcción, manejo y control los hipocloradores en cuales se trabaja con hipoclorito de calcio y sodio y de mayor complejidad los tanque de cloro gas.
- Para niveles de alta complejidad se recomienda la utilización de cloro gas y para niveles de baja complejidad se recomienda la utilización de hipoclorito de calcio o de sodio.
- En el caso de querer utilizar otros desinfectantes como el ozono, yodo, bromo debe probarse su eficiencia mediante ensayos de laboratorio o pruebas en plantas piloto.
- Otro criterio importante a considerar es el costo de los desinfectantes; en el caso del hipoclorito de calcio o sodio los costos no son elevados. En caso de utilizar ozono o rayos ultravioleta los costos son elevados especialmente por la necesidad de contar con un suministro de energía por 24 horas.

b) Dosis Óptima del Desinfectante:

- La dosis óptima del desinfectante se determinará mediante ensayos de laboratorio.
- Se debe dejar un residual del desinfectante para el cloro la Norma NTE INEN 1108:2011 Segunda Revisión, que indica que el residual debe encontrarse entre 0,5 y 1,5 mg/l que actúe en caso una contaminación del agua garantizando que la misma llegue a cada uno de los domicilios libre de microorganismos patógenos.

c) Determinación de la Capacidad de las Estaciones de Cloración:

- La determinación de la capacidad de las estaciones de cloración está en función del volumen de agua a clorarse por día.
- También depende de la demanda de cloro en el agua a tratar; la misma que se determinará a nivel de laboratorio.

1.8.6.2. Cálculo de la cantidad de Hipoclorito de Calcio a utilizar por día

La cantidad de cloro a utilizar por día se determinará mediante ensayos de laboratorio y mediante el volumen de agua a clorar diariamente.

1.8.6.3. Cálculo del Volumen del Hipoclorador

El volumen del hipoclorador se calcula en función del volumen de solución del hipoclorito de calcio a utilizar y un factor de seguridad de 2.

$$V_{\text{hipoclorador}} = fm V_{\text{SHTH}} \quad (\text{Ecuación 17-1})$$

Donde:

$V_{\text{hipoclorador}}$: Volumen del hipoclorador (l)

V_{SHTH} : Volumen de la solución de hipoclorito de calcio (l)

fm: Factor de mayorización

Para determinar las dimensiones del tanque se toma en cuenta la forma geométrica del mismo.

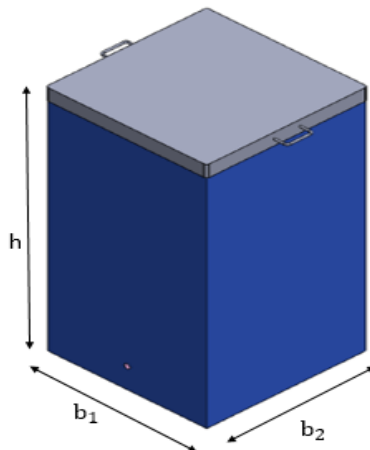


Figura 17-1: Dimensiones de un Prisma Rectangular

Fuente: <http://www.universoformulas.com/matematicas/geometria/area-prisma-rectangular/>

Y se utiliza la Ecuación 18-2, que permite calcular el volumen en función de las dimensiones del hipoclorador, en dónde el volumen ya se conoce mediante la Ecuación 17-2, de esta manera se determina la altura o la base:

$$V = (b1) (b2) (h) \qquad \text{Ecuación (18-1)}$$

Dónde:

b1: base 1 del tanque hipoclorador (m)

b2: base 2 del tanque hipoclorador (m)

h: altura del tanque hipoclorador (m)

V: volumen del tanque (m³)

CAPÍTULO II

2. MARCO EXPERIMENTAL

2.1. Localización de la Investigación

El presente trabajo se llevará a cabo en la Comunidad de Bellavista perteneciente a la parroquia Cajabamba del cantón Colta, provincia de Chimborazo.

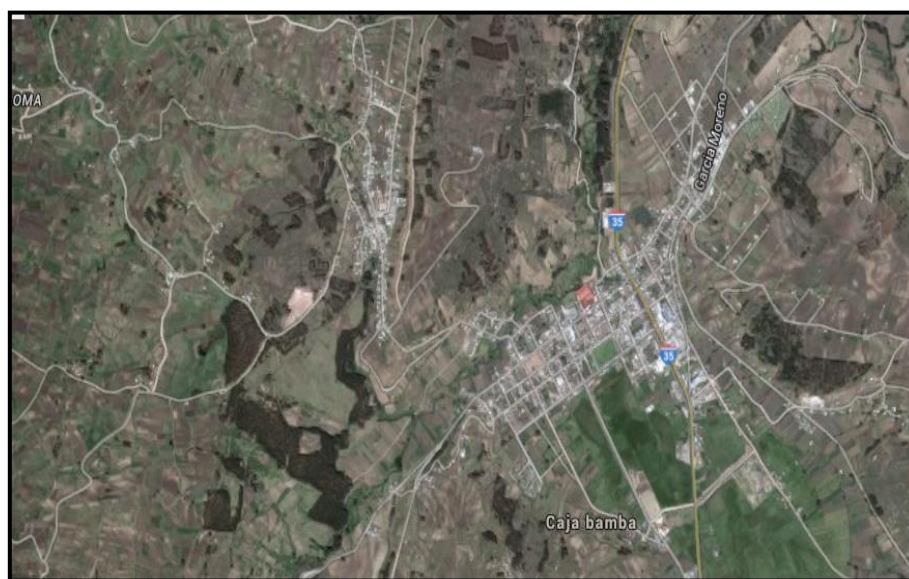


Figura 18-2: Localización del estudio, Comunidad Bellavista
Fuente: www.google.com/maps

2.2. Diagnóstico Actual

Actualmente la comunidad de Bellavista de la parroquia Cajabamba no cuenta con un sistema de tratamiento de agua potable; por lo que consumen agua entubada lo cual afecta a la calidad de vida de los habitantes, es así que durante las visitas realizadas se pudo observar que los habitantes de la zona tienen problemas dentales conocidos como fluorosis producto del consumo del agua no tratada.

El agua es recogida de una vertiente en unos tanques de captación y transportada por medio de tuberías de PVC unos 3 km hasta un tanque de almacenamiento para ser distribuida a cada uno de los domicilios.

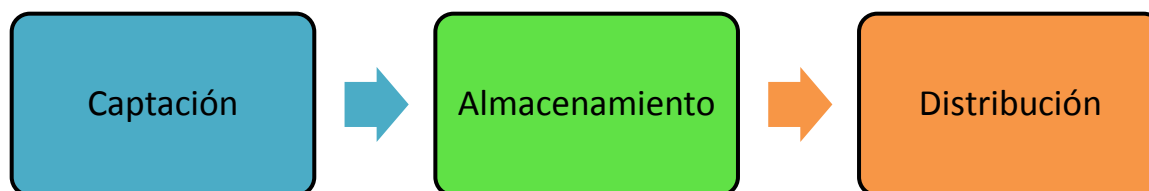


Figura 19-2: Diagrama de Bloques del Tratamiento de Agua Potable Actual

Fuente: Orellana María Fernanda, 2015.

2.3. Muestreo

El muestreo se realizó en la captación del agua y el mismo fue importante para conocer las características físicas, químicas y microbiológicas del agua de esta manera se logra determinar los parámetros que se encuentran fuera de la Norma NTE INEN 1108:2011 Segunda Revisión.

Tabla 4-2. Muestreo

Semana	Día	Número de muestras	Lugar de muestreo
1	1	1	Captación
2	1	1	Captación
3	1	1	Captación
4	1	1	Captación

Fuente : Orellana María Fernanda, 2015

El tipo de muestreo que se realizó fue de tipo simple y se hizo una vez por semana durante 4 semanas.

2.4. Metodos y Técnicas

2.4.1. Métodos

En el presente estudio se aplicará el denominado método experimental, utilizando como procesos lógicos la inducción y la deducción ya que es necesario conocer los hechos más importantes que se dan en el sistema de tratamiento de aguas para consumo humano, es decir las variables que se presentan en el análisis del problema de estudio para poder llegar a un adecuado y óptimo diseño de tratamiento.

2.4.1.1. Método Inductivo

Para el presente estudio será necesario realizar el muestreo del agua cruda para conocer las características físicas, químicas y microbiológicas.

2.4.1.2. Método Deductivo

Se partirá de doctrinas generales como es el conocimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua cruda para en base a esos resultados encontrar soluciones al problema de la calidad del agua que consume la comunidad de Bellavista.

2.4.1.3. Método Experimental

La parte experimental de este proyecto se llevará a cabo en el laboratorio de AnálisisTécnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, con la finalidad de simular una planta piloto para tratar el agua cruda y potabilizarla; será por tanto la base para la elección del sistema de tratamiento más adecuado con lo cual se logrará entregar agua de calidad para los habitantes de la comunidad Bellavista del cantón Colta.

Tabla 5-2: Descripción del Método de Análisis

DETERMINACIÓN	MÉTODO	DESCRIPCIÓN
Color	Comparativo	Se toma una muestra (agua cruda) en un recipiente del comparador y en el otro se agua destilada, se procede a la lectura.
Turbiedad	Nefelométrico	Mediante el electrodo de cristal del equipo, se lee y se registra el valor.
Ph	Potenciométrico	
Solidos Totales	Electrométrico	
Conductividad	Electrométrico	
Aluminio	Espectrofotométrico	Tomar 25 ml de muestra (agua cruda) en tubo de inversión, colocar los reactivos que indica el manual y registrar los resultados.
Dureza	Volumétrico	Se toma 25 ml de la muestra (agua cruda), seguido de 1ml de solución tampón, más una pizca de negro de eriocromo T en polvo, y titular con EDTA 0,02 N
Nitratos, Nitritos, Cloruros, Cloro Libre, Cloro Residual, Sulfatos, Fluoruro, Nitrógeno	Espectrofotométrico	Tomar 10 ml de muestra (agua cruda), colocar los reactivos indicados en la técnica y registrar los resultados obtenidos.
Escherichia Coli Coliformes Totales	Sembrado	Se esteriliza el equipo microbiológico para la filtración, se toma 50 ml de muestra (agua cruda) y se filtra, se vierte el reactivo y se siembra a la temperatura correspondiente.

Fuente: Orellana, María Fernanda ,2015

2.4.2. Técnicas

Los métodos y técnicas utilizados para este respectivo análisis son Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21° EDICIÓN.

2.4.2.1. Determinación del Ph

- ✓ Calibrar el pH-metro.
- ✓ Colocar en un vaso de vidrio limpio un volumen de muestra suficiente como para cubrir al electrodo de vidrio.
- ✓ Sumergir los electrodos en la muestra y suavemente revolver a una velocidad constante para proporcionar la homogeneidad y suspensión de los sólidos, y esperar hasta que la lectura se estabilice.
- ✓ Anotar el valor de la lectura en el protocolo de trabajo.
- ✓ Enjuagar el electrodo con agua destilada.

2.4.2.2. Determinación de la Conductividad

- ✓ Encender el multiparámetro.
- ✓ Seleccionar el modo para medir la conductividad.
- ✓ Colocar en una vaso de precipitación una muestra de agua residual
- ✓ Sumergir el electrodo.
- ✓ Leer el valor que se muestra en la pantalla.

2.4.2.3. Determinación de Color Aparente

- ✓ Colocar una muestra de agua en la celda.
- ✓ En la otra celda colocar una muestra de agua destilada.
- ✓ Encerar el equipo con la muestra de agua destilada.
- ✓ Seleccionar en el equipo HACH lectura para color aparente.
- ✓ Colocar la muestra de agua en la celda.
- ✓ Leer el valor.

2.4.2.4. Determinación de la Turbiedad

- ✓ Encender el turbidímetro.
- ✓ Tomar con cuidado el frasco para la muestra y enjuagar con agua destilada.
- ✓ Colocar la muestra de agua residual en el frasco hasta donde señala la marca y tapar.

- ✓ Limpiar el exterior del frasco y colocar en la celda del turbidímetro.
- ✓ Leer el valor que indica en la pantalla.

2.4.2.5. Determinación de Hierro

- ✓ Seleccionar en la pantalla del equipo HACH programas almacenados.
- ✓ Seleccionar el test 265 hierro.
- ✓ Se debe preparar un blanco llenando 10 ml muestra en la cubeta.
- ✓ En otra cubeta colocar 10 ml de muestra y añadir el reactivo ferrover en polvo, agitar con rotación para mezclar.
- ✓ Se selecciona en la pantalla el temporizador y pulsar Ok. Comienza un periodo de reacción de 3 minutos.
- ✓ Después que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta y colocar el blanco en la celda.
- ✓ Encerar el equipo.
- ✓ Colocar la muestra de agua y proceder a la lectura.

2.4.2.6. Determinación de Fluoruro

- ✓ Seleccionar en la pantalla programas almacenados y seleccionar el test 190 fluoruro.
- ✓ Preparar el blanco con una muestra de agua destilada.
- ✓ Tomar 10 ml de muestra y colocar 2 ml de reactivo para fluoruro.
- ✓ Colocar los 10 ml de muestra preparada en la cubeta.
- ✓ Proceder a encerar el equipo colocando la muestra de agua destilada.
- ✓ Introducir la cubeta con la muestra en la celda y proceder a la lectura.

2.4.2.7. Determinación de Sulfatos

- ✓ Seleccionar en la pantalla del equipo HACH programas almacenados y seleccionar el test 680 sulfato.
- ✓ Preparar el blanco, colocando 10 ml de muestra en una cubeta.
- ✓ Colocar 10 ml de muestra en otra cubeta y añadir el reactivo sulfaver, agitar con cuidado para mezclar.

- ✓ Seleccionar en la pantalla en símbolo de temporizador y pulsar Ok; comienza un periodo de reacción de 5 minutos.
- ✓ Después que el temporizador limpiar bien el exterior de la cubeta que contiene el blanco y colocar en la celda respectiva y encerrar.
- ✓ Retirar y colocar la muestra respectiva y seleccionar la opción medición.
- ✓ Leer el valor que muestra en la pantalla.

2.4.2.8. Determinación de Nitratos

- ✓ Seleccionar en el equipo HACH programas almacenados y seleccionar el test 355 nitrato.
- ✓ Preparar el blanco colocando 10 ml de muestra en una cubeta.
- ✓ En otra cubeta colocar 10 ml de muestra y añadir el reactivo en polvo para nitrato.
- ✓ Seleccionar en la pantalla en símbolo de temporizador y pulsar ok, comienza un tiempo de reacción de 1 minuto.
- ✓ Después que suene el temporizador limpiar bien el exterior de la cubeta que contiene el blanco y colocar en la celda respectiva y encerrar.
- ✓ Retirar el blanco y colocar la muestra preparada; seleccionar en la pantalla la opción medición
- ✓ Leer el valor que se muestra.

2.4.2.9. Determinación de Nitritos

- ✓ Seleccionar en el equipo HACH programas almacenados y seleccionar el test 371 nitrito.
- ✓ Colocar en una cubeta cuadrada 10 ml de muestra, dicha muestra será el blanco.
- ✓ En la otra cubeta colocar 10 ml de muestra y añadir un sobre de reactivo de nitrato en polvo.
- ✓ Agitar la cubeta con rotación para mezcla.
- ✓ Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar ok. Comienza un periodo de reacción de 20 minutos.
- ✓ Después que suene el temporizador limpiar bien el exterior del blanco y colocar en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia la derecha.
- ✓ Encerrar el equipo.
- ✓ Luego retirar el blanco y colocar la muestra preparada y seleccionar la opción medición.
- ✓ Leer el valor en la pantalla.

2.4.2.10. *Determinación de Cloruros*

- ✓ Seleccionar en la pantalla del equipo HACH programas almacenados y el test cloruro.
- ✓ Preparar el blanco colocando 10 ml de agua desionizada.
- ✓ Llenar 10 ml de muestra en la otra cubeta.
- ✓ Añadir 0,8 ml de solución tiocianato de mercurio en cada cubeta.
- ✓ Agitar con rotación para mezclar.
- ✓ Colocar 0,4 ml de solución ferrica en cada cubeta.
- ✓ Agitar con rotación para mezclar, en presencia de cloruro aparecerá un color anaranjado.
- ✓ Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsa ok, comienza un periodo de reacción de 2 minutos.
- ✓ Colocar el blanco en la celda respectica y encerrar.
- ✓ Retirar el blanco y colocar la muestra preparada y proceder a la medición.

2.5. **Caracterización del Agua**

Una vez que ya se contó con la muestra de agua, la misma fue enviada al Laboratorio de Análisis Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH).

2.5.1 Resultados Obtenidos de la Caracterización

Tabla 6-2: Resultados Obtenidos en la Caracterización Física, Química y Microbiológica del Agua Cruda

PARÁMETRO	UNIDADES	MUESTRAS				PROMEDIO
		S1	S2	S3	S4	
pH*	[H ⁺]	7,83	7,50	7,66	7,75	7,69
Color	Pt-Co	4	4	12	4	6
Turbidez	NTU	0,90	1,92	1,43	1,17	1,49
Sólidos Totales	mg/l	548	604	562	555	567,25
Sólidos Suspendidos	mg/l	5	1	2	1	2,25
Conductividad	μS/cm	815	813	826	799	813,25
Nitratos NO ₃ ⁻	mg/l	13,3	12,3	10,7	20,6	14,22
Nitritos NO ₂ ⁻	mg/l	0,002	0,027	0,001	0,15	0,045
Sulfatos SO ₄ ^{2-*}	mg/l	49	35	55	43	45,5
Dureza Total CaCO ₃	mg/l	124	184	96	102	126,50
Fluor	mg/l	2	2,3	2	2,5	2,2
Hierro	mg/l	0,41	0,45	0,5	0,5	0,47
Cloruros	mg/l	4,24	5,66	4,24	3,56	4,40
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /l	204	240	200	182	206,5
Coliformes Fecales	UFC/100ml	1	<2	<2(ausencia)	1	2

Fuente: Orellana María Fernanda, 2015

2.5.2 Comparación del Promedio obtenido con la Norma NTE INEN 1108-2011 Segunda Revisión.

Tabla 7-2: Comparación de los Resultados de la Caracterización con la Norma 1108:2011 Agua Potable. Requisitos. Segunda Revisión.

PARÁMETROS	UNIDADES	PROMEDIO	NORMA NTE INEN 1108-2011. Segunda Revisión
pH*	[H ⁺]	7,69	6-9
Color	Pt-Co	6	15
Turbidez	NTU	1,49	5
Olor		Si objetable	No objetable
Sabor		Si objetable	No objetable
Sólidos Totales	mg/l	567,25	1000
Sólidos Suspendidos	mg/l	2,25	
Conductividad	μS/cm	813,25	
Nitrato NO ₃ ⁻	mg/l	14,22	50
Nitritos NO ₂ ⁻	mg/l	0,045	3,0
Sulfatos SO ₄ ^{2-*}	mg/l	45,5	250
Dureza Total CaCO ₃	mg/l	126,50	300
Flúor	mg/l	2,5	1,5
Hierro	mg/l	0,47	0,3
Cloruros	mg/l	4,40	250
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /l	206,5	250-300
Coliformes fecales	UFC/100ml	<2	Ausencia

Como se puede notar en la Tabla No. 7-2, una vez comparados los valores promedios de los diferentes parámetros con los valores de la Norma NTE INEN 1108:2011 Agua Potable. Requisitos. Segunda Revisión, se determina que los parámetros que se encuentran fuera de rango son flúor, hierro y coliformes fecales; así como también en cuanto a las características organolépticas olor y sabor son desagradables.

2.6. Pruebas de Tratabilidad

Una vez que se conoció que los parámetros que se encuentran fuera de norma son hierro y flúor se simuló un proceso de aireación para eliminar hierro y una filtración con zeolita para eliminar flúor y ensayos para encontrar la dosificación exacta de hipoclorito de calcio para garantizar que agua llegue en condiciones aptas para el consumo humano.

Antes de empezar con las pruebas de tratabilidad se midieron los valores de hierro y flúor para conocer las condiciones iniciales con las que se inicia el tratamiento.

2.6.1. Aireación

La aireación se realizó con el propósito de disminuir la concentración del hierro que se encuentra por encima de norma para consumo humano; la presencia de hierro en el agua genera un sabor desagradable y cuando es utilizada en la limpieza de la ropa deja manchas de color café.

El ensayo se lo realizó colocando agua en un recipiente e introduciendo oxígeno (aire) con la ayuda de una bomba durante 12 horas.

Una vez terminado el ensayo se procedió a medir los parámetros que se encuentran fuera de norma para verificar que hubo una disminución de los mismos.

Tabla 8-2: Resultados Obtenidos en el Procesos de Aireación

Parámetro	Unidad	Antes de aireación	Después de la aireación
Hierro	mg/l	0,47	0,03
Flúor	mg/l	2,5	1,17

Fuente: Orellana María Fernanda,2015

Como se puede ver en la Tabla No. 8-2, con la aireación no sólo se consiguió eliminar el hierro sino también el flúor, es así que para corroborar el dato se simuló nuevamente el proceso tomando otra muestra de agua cruda y se constató que en efecto la aireación ayuda a eliminar el flúor y de ésta manera su valor se ajusta a la norma. Con la aireación se consiguió también que el oxígeno disuelto en el agua aumente haciendo que el sabor del agua sea agradable; es por eso que la aireación es aconsejable para el control de sabor y olor en el agua potable.

2.6.2. Filtración

Como se observa en la Tabla No. 8-2, de los resultados obtenidos en el proceso de aireación, se consiguió eliminar el flúor; sin embargo se realizó también la prueba de filtración con zeolita para conocer que tan efectivo es el proceso en la eliminación de flúor .

Para esta prueba fue necesario activar la zeolita con cloruro de sodio al 10 %, posteriormente se simuló el filtro con zeolita y se hizo pasar el agua por dicho filtro, el agua filtrada se analizó obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 9-2: Resultados Obtenidos en la Filtración con Zeolita activada con Cloruro de Sodio al 10%

Parámetro	Unidad	Antes de filtración	Después de la filtración
Hierro	mg/l	0,47	0,47
Flúor	mg/l	2,5	2,5

Fuente: Orellana María Fernanda,2015

Como se puede ser observar en la Tabla No. 9-2, los resultados obtenidos en la eliminación de flúor no fueron favorables; por tal razón se realizó una segunda filtración en donde la zeolita se activó con hidróxido de sodio 0,01 N. Después de la filtración se consiguió eliminar flúor y los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 10-2 : Resultados Obtenidos en la Filtración con Zeolita activada con Hidróxido de Sodio 0,01 N

Parámetro	Unidad	Antes de filtración	Después de la filtración
Hierro	mg/l	0,47	0,47
Flúor	mg/l	2,5	2,37

Fuente: Orellana María Fernanda,2015

Se observa en la Tabla No. 10-2, que sí existe una disminución de flúor pero en comparación con el proceso de aireación existen mejores resultados con la aireación, es por ello que se elige el proceso de aireación ya que ayuda en la eliminación del hierro y flúor.

2.6.3. Dosificación de Cloro

Al realizar la caracterización microbiológica del agua se conoció que en el agua no existe la presencia de coliformes fecales; sin embargo se ve la necesidad de clorar el agua para garantizar que el agua este completamente libre de microorganismos patógenos; así como también dejar un cloro residual que actúe en caso de una contaminación. Este proceso, por tanto ayudará a determinar la dosis óptima del desinfectante en este caso hipoclorito de calcio que se añadirá al agua.

Para la dosificación de cloro se preparó 100 ml de una solución de hipoclorito de calcio al 0.2 %; disolviendo 0,2 g de hipoclorito de calcio sólido y aforando a 100 ml con agua destilada.

Para determinar la dosis adecuada de cloro se realizó el siguiente procedimiento:

- Se tomaron 4 vasos de precipitación del 1000 ml y se colocó un litro de agua cruda en cada vaso.
- Posteriormente se colocó dosis progresiva 1,2,3,4 ml de la solución de hipoclorito de calcio preparada respectivamente.
- Se dejó reposar por 30 minutos.
- Pasado dicho tiempo se procedió a medir el cloro residual en equipo HACH y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 11-2 : Resultados Obtenidos en la Cloración

Muestra	ml de solución de hipoclorito de calcio al 0,2% añadido	Cloro residual mg/l
Vaso 1	1	0,18
Vaso 2	2	0,78
Vaso 3	3	1,4
Vaso 4	4	2

Fuente: Orellana María Fernanda, 2015.

En la Tabla No. 11-2 se puede notar que al añadir 3 ml de la solución al 0,2 % de hipoclorito de calcio se tiene un cloro residual de 1,4 mg/l que está dentro del rango permitido que es de 0,5-1,5 mg/l (basándose en los valores permitidos según la Norma NTE INEN 1108:2011 Agua Potable. Requisitos. Segunda Revisión). No se escogió el valor del vaso número 2 puesto que existe mayor seguridad al tener un cloro residual mayor a 0,78 mg/l .

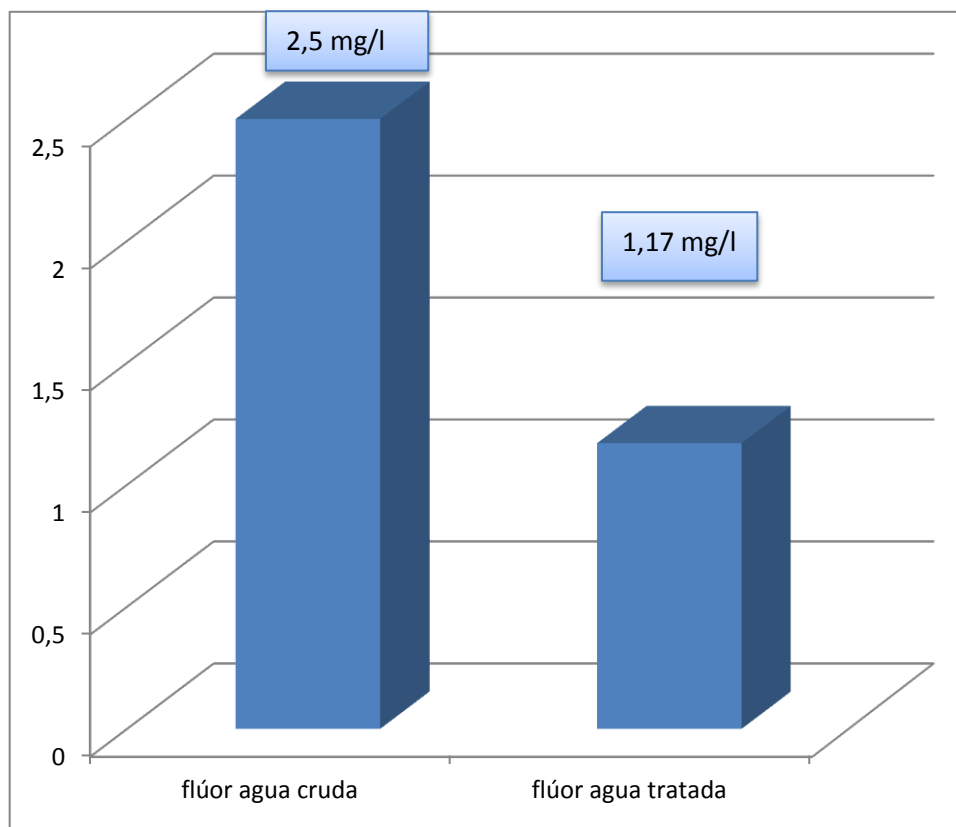
2.7. Porcentaje de Remoción de los Parámetros Fuera de Norma

2.7.1 Porcentaje de Remoción del Flúor

Resultados tomados de la Tabla No. 7-2

$$\% \text{ Remoción del flúor} = \frac{2,5 - 1,17}{2,5} \times 100\%$$

$$\% \text{ Remoción del flúor} = 53\%$$



Gráfica 1-2: Porcentaje de Remoción de Flúor

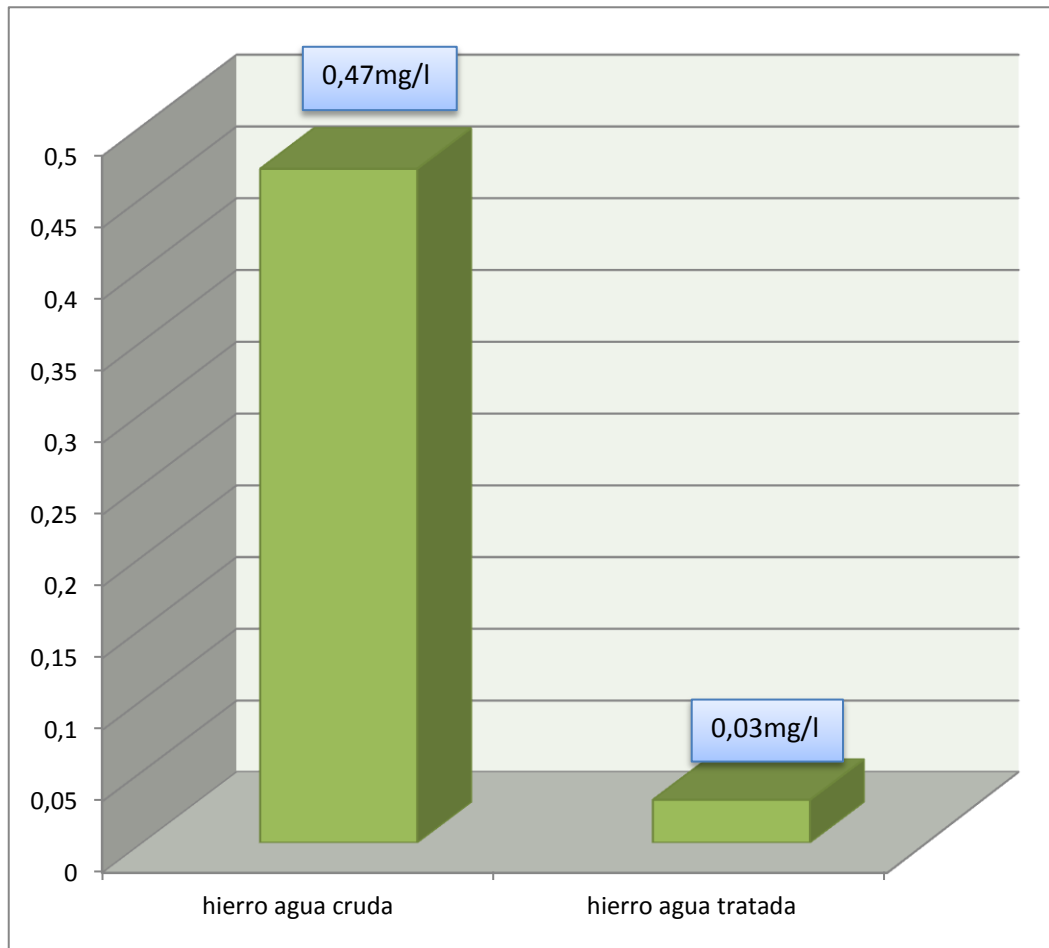
Fuente: Orellana María Fernanda, 2015

2.7.2. Porcentaje de Remoción del Hierro

Resultados tomados de la Tabla No. 7-2

$$\% \text{ Remoción del hierro} = \frac{0,47 - 0,03}{0,47} \times 100\%$$

$$\% \text{ Remoción del hierro} = 94 \%$$



Gráfica 2-2: Porcentaje de Remoción del Hierro

Fuente: Orellana María Fernanda, 2015

2.8. Resultados Obtenidos luego del Tratamiento

Tabla 12-2: Resultados Obtenidos en la Caracterización Física, Química y Microbiológica del Agua Tratada

PARÁMETROS	UNIDADES	AGUA TRATADA	NORMA INEN NTE 1108:2011
pH*	[H ⁺]	7,10	6-9
Color	Pt-Co	13	15
Turbidez	NTU	0,66	5
Olor		No objetable	No objetable
Sabor		No objetable	No objetable
Sólidos Suspendedos	mg/l	1	
Conductividad	μS/cm	771	
Nitratos NO ₃ ⁻	mg/l	17	50
Nitritos NO ₂ ⁻	mg/l	0,006	3,0
Dureza Total CaCO ₃	mg/l	112	300
Flúor	mg/l	1,12	1,5
Hierro	mg/l	0,04	0,3
Cloruros	mg/l	2,83	250
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /l	206	250-300
Coliformes fecales	UFC/100ml	Ausencia	Ausencia

Fuente: Orellana María Fernanda, 2015

CAPITULO III

3. CÁLCULOS DE DISEÑO

3.1. Cálculo Población Futura para el Diseño

De acuerdo al Censo de Población, realizado el 28 de Noviembre del 2010, por el INEC, la Comunidad de Bellavista cuenta con 85 habitantes, con un índice de crecimiento intercensal de 1,4 %. El período de diseño es de 15 años, donde utilizaremos la Ecuación 3-1:

$$P_f = P_a \left[1 + \left(\frac{r}{100} \right) \right]^t$$

Donde :

P_a : Población Actual (2015) = 85 hab.

r: Tasa crecimiento anual = 1,4%.

t: número de años que se va proyectar la población = 15 años.

$$P_f = 85(1 + 0,014)^{15}$$

$$P_{f2030} = 105 \text{ hab}$$

3.2. Cálculo de las Dotaciones

Para conocer las dotaciones de agua que son necesarias para satisfacer las necesidades de cada uno de los habitantes de la Comunidad de Bellavista, se conoció el volumen de agua consumido diariamente por la población de la comunidad gracias a la ayuda brindada por parte de los representantes de dicha comunidad.

3.2.1. Cálculo de Dotación Básica

El volumen de agua consumida por los pobladores es de 9750 litros diariamente, información obtenida al realizar la medición del caudal utilizando el método volumétrico.

Tabla 13-3: Caudales

Día	Q (l/s)
Lunes	0,111
Martes	0,101
Miércoles	0,123
Jueves	0,118
Viernes	0,112
Sábado	0,098
Domingo	0,131
Promedio	0,113

Fuente: Orellana María Fernanda, 2015

Para calcular el volumen utilizamos la Ecuación 1.1, despejando el volumen:

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

$$V = Q \times t$$

$$V = 0,113 \frac{l}{s} \times 86400$$

$$V = 9750 l$$

La dotación se calcula mediante la Ecuación 4-1:

$$D_B = \frac{V_{agua\ c}}{Pa}$$

Dónde:

$V_{agua\ c}$: Volumen de agua consumida = 9750 l/ día

Pa : Población actual = 85 habitantes

$$D_B = \frac{9750 \text{ l/día}}{85 \text{ hab}}$$

$$D_B = 115 \frac{\text{l}}{\text{hab} \times \text{día}}$$

3.2.2. Dotación Media Futura

Para la obtención de la dotación media futura, se trabaja con la Ecuación 5-1, con un factor de mayorización de 1,18 (REA, A. 2015):

$$D_{MF} = f_m \times D_B$$

Donde:

D_{MF} : Dotación futura, (l/hab × día).

f_m : Factor de Mayorización,(adimensional).

D_B : Dotación Básica, (l/hab × día).

$$D_{MF} = 1,18 \times 115$$

$$D_{MF} = 135,7 \frac{\text{l}}{\text{hab} \times \text{día}}$$

3.3. Cálculos de los Gastos

3.3.1. Gasto Medio Diario (Q_{md})

Para calcular la cantidad de agua requerida y satisfacer las necesidades de la población en un día, se lo obtiene mediante la Ecuación 6.1:

$$Q_{md} = \frac{P_f \times D_{MF}}{86.400}$$

Donde:

P_f 2030: Población futura = 105 hab.

D_{MF} : Dotación futura: 135,7 l/ (hab × día)

$$Q_{md} = \frac{105 \text{ hab} \times 135,7 \frac{\text{l}}{\text{hab} \times \text{día}}}{86400 \frac{\text{s}}{\text{día}}}$$

$$Q_{md} = 0,16 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

3.3.2. Gasto Máximo Diario (Q_{Md})

Se trabaja con un coeficiente de variación diaria que es de 1,3 tomado de la Tabla No. 1-1; aplicando la Ecuación 7-1:

$$Q_{Md} = k_1 \times Q_{md}$$

Donde:

Q_{Md} : Gasto máximo diario, (l/s).

k_1 : Coeficiente de variación diaria, adimensional

Q_{md} : Gasto medio diario, (l/s).

$$Q_{Md} = 1,3 \times 0,16 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$Q_{Md} = 0,21 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

3.4. Cálculos para Caudal de Diseño

La estructura de la captación se la diseñará con una capacidad equivalente a 1,5 veces el caudal del gasto máximo diario que es de 0,21 l/s y se la calcula mediante la Ecuación. 8-1:

$$Q_D = 1,5 \times Q_{Md}$$

Donde:

Q_{Md} : Gasto máximo diario, (l/s).

Q_D : Caudal de diseño, (l/s).

$$Q_D = 1,5 \times 0,21 \frac{l}{s}$$

$$Q_D = 0,32 \frac{l}{s}$$

3.5. Consideraciones del Diseño del Proceso de Potabilización

Guiándose en los resultados obtenidos de los respectivos análisis que se realizó para conocer la situación actual de las condiciones en las que se está consumiendo este líquido vital, se determinó el siguiente diseño con el cual se conseguirá ajustar los parámetros que no cumplen con la Norma NTE INEN 1108:2011 Agua Potable. Requisitos. Segunda Revisión, y brindar agua de calidad para los moradores de la comunidad de Bellavista.

3.5.1. *Diseño de un Aireador de Bandejas*

Para un caudal de $Q_D = 0,32$ l/s, se diseñará un aireador de bandejas que será construido de acero inoxidable.

3.5.1.1. Área Total del Aireador

Se aplica la Ecuación 9-1 para obtener el área total del aireador, con un caudal de $Q_D = 0,32$ l/s equivalente a $27,6$ m³/día y una carga hidráulica de 9 m³/m² día, según la Tabla No. 2-1.

El área del aireador se calcula mediante la Ecuación. 9-1:

$$A_T = \frac{Q_D}{C}$$

Donde:

A_T : Área total del aireador, (m²).

Q_D : Caudal de diseño, (l/s).

C : Carga Hidráulica, (l/m²×s).

$$A_T = \frac{27,6 \text{ m}^3/\text{día}}{9 \text{ m}^3/\text{día} \times \text{m}^2}$$

$$A_T = 3 \text{ m}^2$$

3.5.1.2. Altura Total de la Torre

La altura recomendada para la remoción de hierro y manganeso se encuentra entre 2 a 2,5 m para obtener una eficiencia del 90 % . Se adoptará una altura de 2 m. Según indicado en la Tabla No. 2-1

$$H_{\text{torre}} = 2,00 \text{ m}$$

Así también el espesor de las bandejas será de: 0,20 m; tomado de la Tabla No. 2-1

La separación entre bandejas de: 0,40 m; según indica la Tabla No. 2-1

Y con la finalidad de que el proceso sea más eficiente, sobre las bandejas se colocará coque de 0,15 m de espesor y con un diámetro de 0,05 m.

3.5.1.3. Dimensionamiento de Cada Bandeja

Las bandejas del aireador, tendrán las siguientes características tomando en cuenta de la Tabla No. 5.1:

- Área de cada Bandeja

Se utilizará bandejas cuadradas, su longitud será de 1 m, y el cálculo del área se realizará mediante la Ecuación. 10-1:

$$A_I = L \times L$$

Donde:

A_I : Área de aireación, (m²).

L : Lado de la bandeja, (m).

$$A_I = (1 \times 1)m^2$$

$$A_I = 1 \text{ m}^2$$

- Número de Unidades de Bandejas

El número de bandejas recomendado es de 3 – 9 unidades de acuerdo con la Tabla No. 2-1 y se determina mediante la Ecuación. 11-1:

$$N_B = \frac{A_T}{A_I}$$

Donde:

A_T : Área total de aireación, (m²).

A_I : Área de cada unidad de aireación, (m²).

N_B : Número de bandejas o unidades de aireación requerida, (adimensional).

$$N_B = \frac{3 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2}$$

$$N_B = 3 \text{ unidades}$$

3.5.1.4. Tiempo de Exposición

El tiempo de exposición que habrá entre el agua y con un medio de contacto se consigue a partir de la Ecuación 12.1, teniendo en cuenta que la altura del aireador es de 2 m, de acuerdo a la Tabla No. 2-1 y está conformada por 3 bandejas :

$$t_{eA} = \sqrt{\frac{2 \times H_T \times N_B}{g}}$$

Donde:

t_{eA} : Tiempo de exposición, (s).

H_T : Altura total de la torre, (m).

N_B : Número de bandejas, (unidad).

g : Gravedad, (9,8 m/s²).

$$t_{eA} = \sqrt{\frac{2 \times 2,00\text{m} \times 3}{9,8\text{m/s}^2}}$$

$$t_{eA} = 1,1 \text{ s}$$

3.5.1.5. Cálculo del Caudal sobre Cada Bandeja

- Área de cada orificio

D: diámetro del orificio: 0.01 m; tomado de Tabla No. 1-1

$$A_o = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi \times (0,01 \text{ m})^2}{4} = 7,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$Q_B = L \times A_o \times \sqrt{2 \times g \times H_{H2O}}$$

Donde:

Q_B : Caudal sobre cada bandeja, (l/s).

L: Lado de la bandeja, (m).

A_o : Área de cada orificio, (m^2).

H_{H2O} : Altura de agua sobre las bandejas, (m).

$$Q_B = 1 \times 7,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \times \sqrt{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 0,20 \text{ m}}$$

$$Q_B = 1,56 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_B = 0,16 \text{ l/s}$$

$$Q_B = 0,56 \text{ m}^3/\text{h}$$

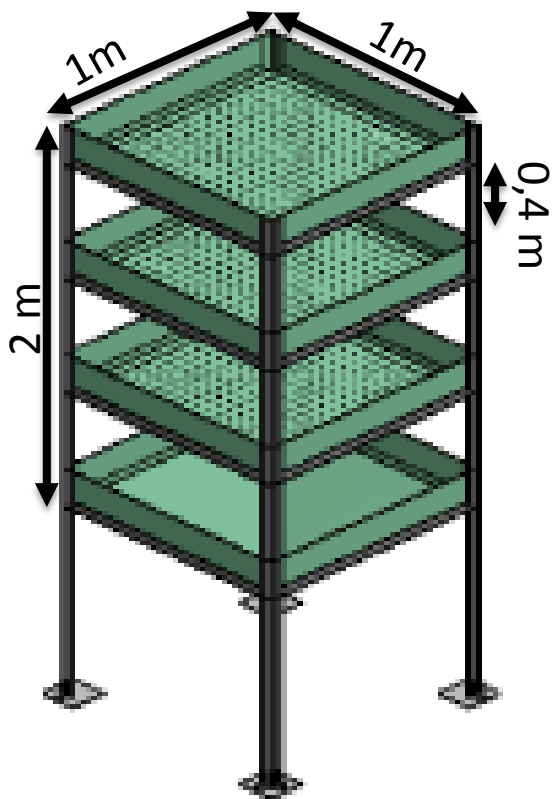


Figura 20-3: Diseño de la Torre de Aireación
Fuente: Orellana María Fernanda, 2015

- Número de Orificios

Para determinar el número de orificios que tendrá cada bandeja se toma en consideración que son bandejas cuadradas de 1 m de cada lado. Además el diámetro de los orificios es de 1 cm y la separación entre orificios es de 5 cm valores tomados de la Tabla No. 2-1. Obteniéndose por tanto 19 orificios por cada lado .

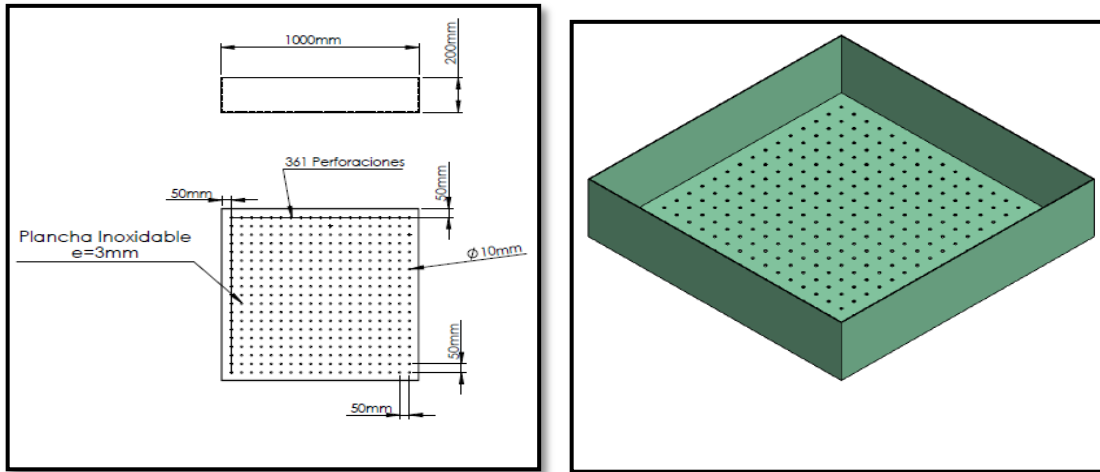


Figura 21-3: Diseño de las Bandeja de la Torre de Aireación

Fuente: Orellana María Fernanda, 2015

3.5.2. Cálculo de la Potencia de la Bomba

3.5.2.1. Cálculo de las Pérdidas Primarias

Para cálculo de pérdidas primarias entre los puntos 1 y 2, se requiere la ecuación de Bernoulli (Ecuación 14-1) con pérdidas, que expresada en alturas equivalentes será:

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \Sigma hf + H_{r_{1-2}} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

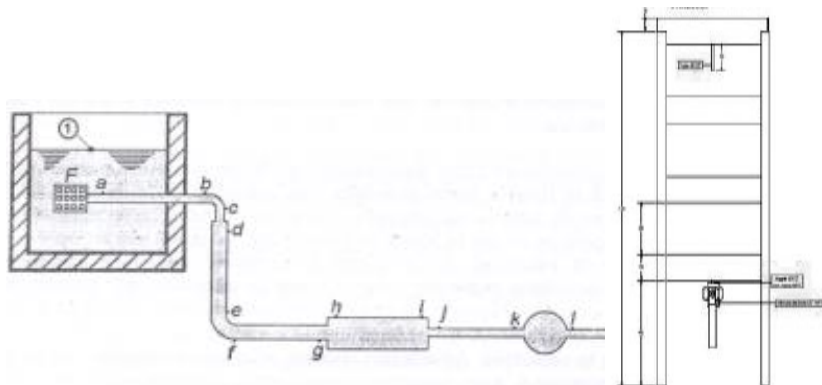


Figura 22-3: Sistema de Bombeo desde la Captación hasta la Torre de Aireación.

Fuente: Orellana María Fernanda, 2015.

La ecuación de Bernoulli escrita entre el punto 1 y 2, pero el término $H_{r_{1-2}}$ engloba ahora las pérdidas primarias y secundarias.

$P_1 = P_2 = 0$ (Presión atmosférica).

Por tanto la ecuación de Bernoulli (Ecuación 14-1) nos queda en función de :

$$H_{r_{1-2}} = (Z_2 - Z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \Sigma h_f$$

Donde:

$H_{r_{1-2}}$: Altura de carga del sistema

Z_1 : Altura estática de succión

Z_2 : Altura estática de descarga

V_1 : Velocidad en la succión

V_2 : Velocidad en la descarga

h_f : Pérdidas de energía en tuberías y accesorios

Donde :

$Z_1 = 3195$ m, altura determinada en el punto de captación mediante GPS

$Z_2 = 3183$ m, la altura en punto 2 se determinó mediante la ayuda de un GPS en el punto donde se va a implementar la torre de aireación siendo de 3180 m , pero se consideró que el agua será elevada 3 metros por encima de la altura determinada con el GPS.

$$(Z_2 - Z_1) = (3195 - 3183)$$

$$(Z_2 - Z_1) = 12 \text{ m}$$

Cálculo de las pérdidas primarias (Ecuación 15-1)

$$h_{fL} = f \frac{Lv^2}{\phi 2g}$$

Donde:

h_{fL} : Pérdida longitudinal o por accesorios

f : Número de Fanning

v : Velocidad

$$h_{fL} = 8 \text{ m}$$

3.5.2.2. *Cálculo de las pérdidas secundarias: mediante la Ecuación 16-1.*

$$h_{pa} = k \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h_{pa} : Pérdida de carga secundaria .

k: Coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria. Datos tomados de la Tabla No. 3-1

v: Velocidad media en la tubería, si se trata de codos, válvulas, etc.

- Pérdidas Secundarias en la Succión Accesorios

$$D = 2 \text{ pulgadas} = 0.0508 \text{ m}$$

$$Q_D = 0.32 \text{ l/s} = 0.00032 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con estos parámetros, y mediante la Tabla No. 3-1 se tiene:

Tabla14-3: Sumatoria de los Coeficientes de Accesorios

Accesorio	K	Cantidad
Codo de 90°	0.95	15
Conexión al tanque.	0,5	1
Válvula de compuerta	0.12	1
TOTAL	K= 14.87	

Fuente: Tabla 13-1

Mediante la Ecuacion 2-1, despejamos velocidad:

$$Q = (A)(v)$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.00032 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi * (0.0508m)^2}{4}} = 0.15 \frac{m}{s}$$

A través de la Ecuación 16-1:

$$h_{pa} = k * \frac{v^2}{2g} = 14.87 * \frac{(0.15 \frac{m}{s})^2}{19.6 \frac{m}{s^2}} = 0.017m$$

- Perdidas Secundarias en la Descarga Accesorios

$$D = 1 \frac{1}{2} \text{ pulgadas} = 0.0381m$$

$$Q_D = 0.32 \text{ l/s} = 0.00032 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con estos parámetros, y mediante la Tabla No. 3-1 se tiene:

Tabla 15-3: Sumatoria de los Coeficientes de Accesorios

Accesorio	K	Cantidad
Codo de 90°	1.5	1
Válvula check	2.2	1
Válvula de compuerta 1 1/2"	0.15	1
TOTAL	K= 3.85	

Fuente: Tabla 13-1

Mediante la Ecuación 2-1, se despeja velocidad:

$$Q = (A)(v)$$
$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.00032 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi * (0.0381m)^2}{4}} = 0.28 \frac{m}{s}$$

A través de la Ecuación 16-1:

$$h_{pa} = k \frac{v^2}{2g}$$
$$h_{pa} = 3.85 \frac{\left(0.28 \frac{m}{s}\right)^2}{19.6 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{pa} = 0.015 \text{ m}$$

Remplazando los valores obtenidos en la Ecuación 14-1:

$$H_{r_{1-2}} = (Z_2 - Z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \Sigma hf$$

$$\Sigma hf = (h_{fl} + h_k)$$

$$\Sigma hf = (8 + 0,015 + 0,017)$$

$$\Sigma hf = 8,032 \text{ m}$$

$$H_{r_{1-2}} = (12 + 0,003 + 8,032) \text{ m}$$

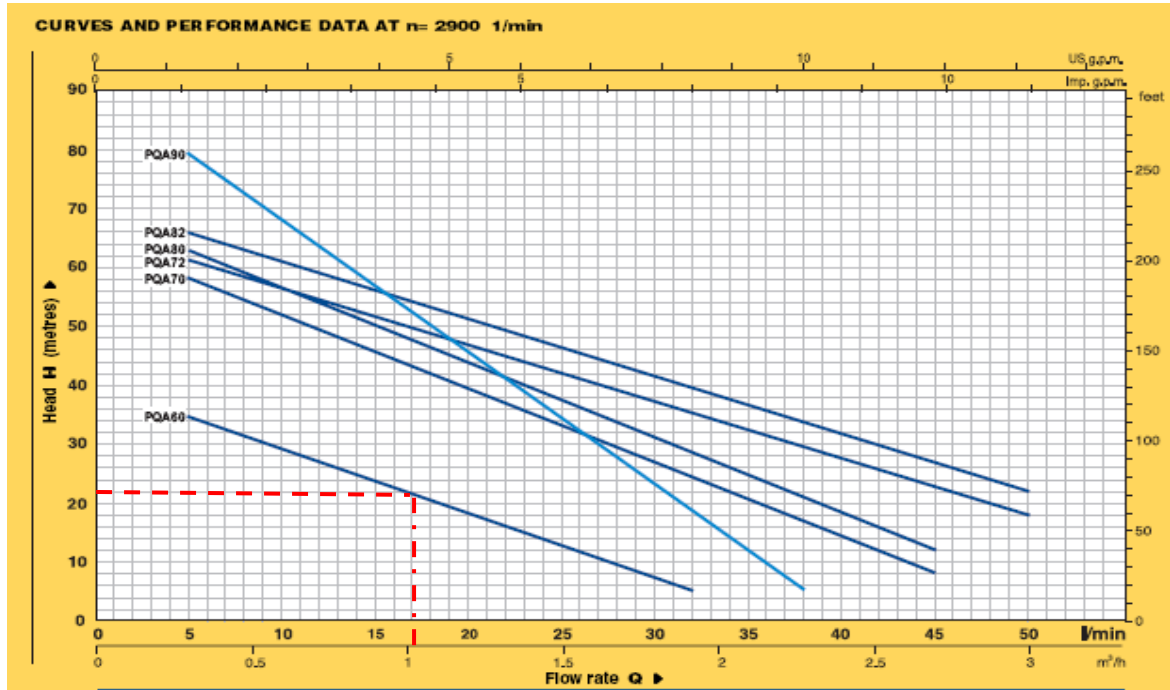
$$H_{r_{1-2}} = 20,032 \text{ m}$$

3.5.2.3. Selección de Bomba

Para la selección de bomba mediante los catálogos PEDROLLO, con las pérdidas $H_{r_{1-2}}$ (m) y el caudal (m^3/h).

$$H_{r_{1-2}} = 20,032 \text{ m}$$

$$Q_D = 1,152 \text{ m}^3/h$$



TYPE		POWER		Q	Flow rate												
Single-phase	Three-phase	kW	HP		0	0.1	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	1.9	2.3	2.7	3.0	
PQAm 60	PQA 60	0.37	0.50	0	2	5	10	15	20	25	30	32	38	45	50		
PQAm 70	PQA 70	0.55	0.75	40	38	35	29	23.5	18	12.5	7	5					
PQAm 72	PQA 72	0.55	0.75	65	62	58	52	45.5	39.5	33	27	24	16.5	8			
PQAm 80	PQA 80	0.75	1	65	-	62	57	52	47	42	37.5	35.5	29.5	22.5	18		
PQAm 82	PQA 82	0.75	1	70	66	62	56	49.5	43	37	31	28	20.5	12			
PQAm 90	PQA 90	0.75	1	70	-	66	61	56	51	46	41.5	39.5	37.5	26.5	22		
				90	86	79	68	56.5	45.5	34	23	19.5	5				

Figura 23-3: Selección de la Bomba mediante Catálogos PEDROLLO

Fuente: https://issuu.com/edarvico.info/docs/curvas_pedrollo_general_2010/35

Tipo de bomba seleccionada es marca PEDROLLO PQA60 m de 0.5 Hp.

3.5.3. Diseño para el Proceso de Desinfección

El diseño del proceso de desinfección constará de un tanque de almacenamiento de capacidad de 9856 litros; este tanque es el que actualmente posee la comunidad de Bellavista para almacenar y posteriormente distribuir el agua entubada; con la finalidad de aprovechar el tanque el agua proveniente de la torre de aireación, ingresará en dicho tanque y sobre éste se colocará un tanque hipoclorador para inyectar la solución de hipoclorito de calcio en la tubería de salida del agua proveniente del tanque de almacenamiento.

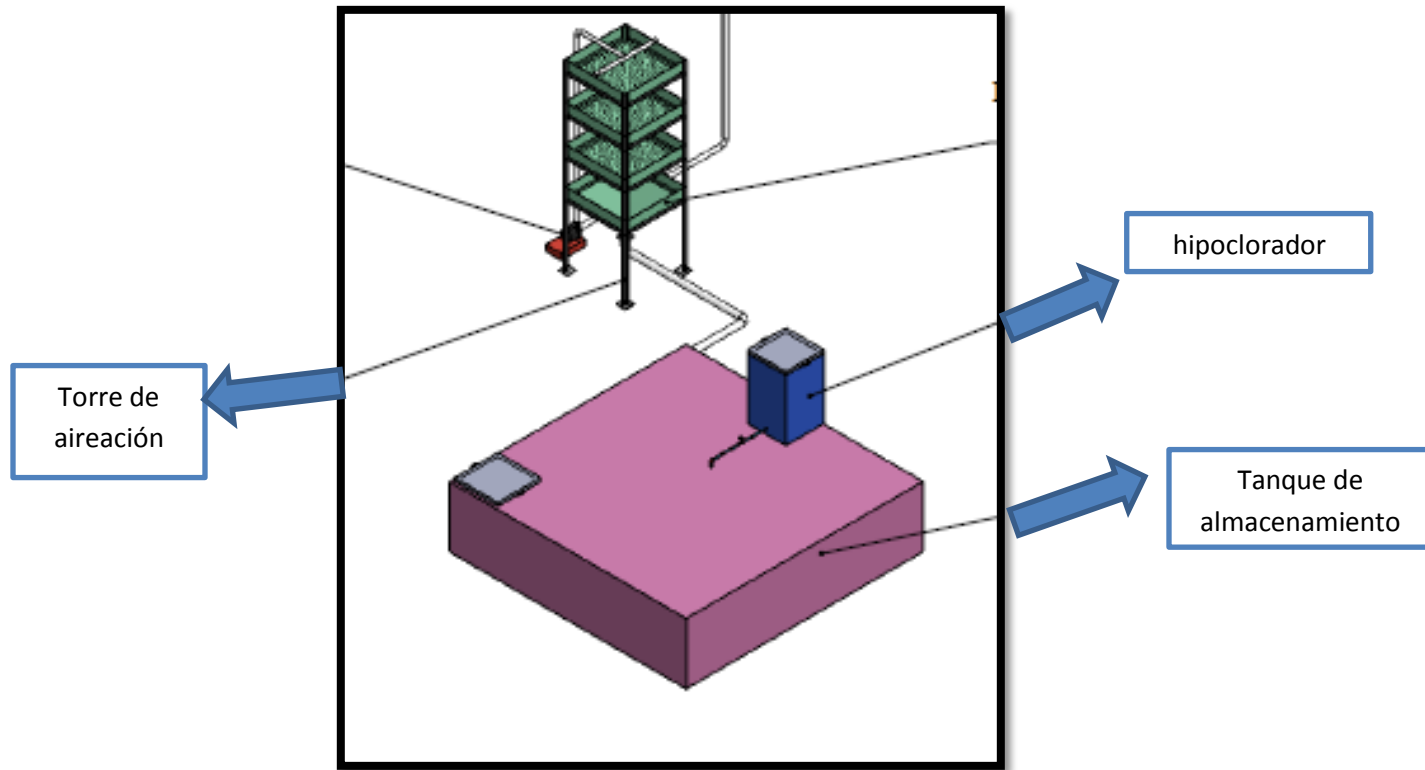


Figura 24-3: Sistema de Cloracion.
 Fuente: Orellana María Fernanda, 2015

El tanque de almacenamiento es de forma rectangular cuyas medidas son:

Largo = 3,7 m

Ancho = 3,7 m

Altura = 0,72 m

Su volumen es de: 9856 l

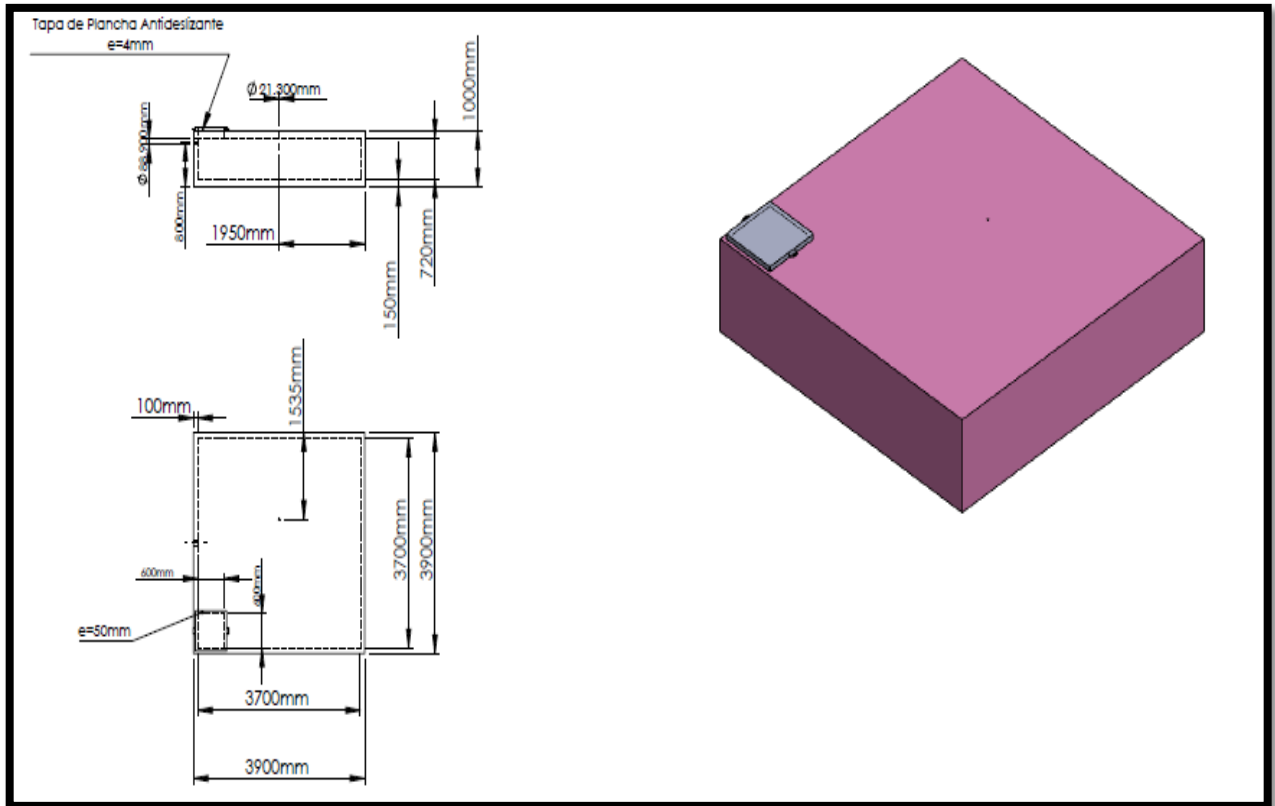


Figura 25-3: Tanque de Almacenamiento de Agua para Clorar.

Fuente: Orellana María Fernanda, 2015

- Cálculo de la cantidad de hipoclorito de calcio a utilizar por día

Para determinar la cantidad en gramos a utilizar por día se realizaron ensayos de laboratorio; en donde se determinó que por cada litro de agua cruda se deben dosificar 3 ml de solución de hipoclorito de calcio al 0,2 %, lo que permitirá tener un cloro residual de 1,4 mg/l que actúe en caso de contaminación del agua eliminado cualquier tipo de microorganismos patógenos.

Para conocer la cantidad de soluto se partirá del caudal de diseño por tanto se tiene:

$$Q_D = 0,32 \frac{l}{s} \times \frac{86000s}{1 \text{ día}} = 27648 \frac{l}{\text{día}}$$

El volumen de agua a clorar por día es de 27648 litros; sabiendo que se necesita 3 ml de solución de hipoclorito de calcio por cada litro de agua cruda se tiene:

$$V_{HTH} = 27648 \text{ litros de agua cruda} \times \frac{3 \text{ ml de solución al } 0,2\% \text{ de hipoclorito de calcio}}{1 \text{ litro de agua cruda}}$$

$$V_{HTH} = 82944 \text{ ml de solución de HTH} \times \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}}$$

$$V_{HTH} = 82,9 \text{ l de HTH}$$

Por tanto para clorar 27648 litros de agua cruda se requiere al día 83 litros de solución de hipoclorito de calcio al 0,2 %.

Transformando l/día a ml/min para ver el caudal de dosificación de la solución de HTH

$$83 \frac{\text{l}}{\text{día}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ l}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_{HTH} = 57,6 \text{ ml/min}$$

Por tanto es necesario dosificar por sistema de goteo en la tubería de salida del agua un caudal de solución de hipoclorito de calcio al 0,2 % $Q_{HTH} = 57,6 \text{ ml/min}$ para un caudal de diseño $Q_D = 0,32 \text{ l/s}$.

Una vez que ya se conoce la cantidad de solución que se requiere por día es necesario determinar la cantidad de hipoclorito de calcio sólido que se requiere para eso se toma en cuenta que los moradores de la comunidad de Bellavista prepararan 100 litros de solución .

Para preparar 100 litros de solución al 0,2 % es necesario conocer la masa en gramos que se requiere de hipoclorito de calcio sólido; para ello se hará uso de la relación porcentaje peso-volumen en donde se tiene la siguiente ecuación:

$$m_{HTH} = \frac{\text{concentracion de la solucion(100000g)}}{100\%}$$

$$m_{HTH} = \frac{0.2(100000)}{100\%}$$

$m_{HTH} = 200$ gramos de hipoclorito de calcio disolver en 100 litros de agua destilada

Se necesita 200 gramos de hipoclorito de calcio sólido para preparar 100 litros de una solución al 0,2 % .

➤ Diseño del hipoclorador

Para el diseño del hipoclorador se debe tomar en cuenta el volumen de la solución a preparar multiplicado por un factor de seguridad Ecuación. 17-1:

$$V_{\text{hipoclorador}} = fm V_{SHTH}$$

Donde :

$V_{\text{hipoclorador}}$ = Volumen del hipoclorador (l)

V_{SHTH} = Volumen de la solución de hipoclorito de calcio (l)

fm = factor de mayorización 2

$$V_{\text{hipoclorador}} = 2 (100 \text{ litros de solución})$$

$$V_{\text{hipoclorador}} = 200 \text{ litros}$$

$$V_{\text{hipoclorador}} = 0,2 \text{ m}^3$$

Para determinar las dimensiones del tanque hipoclorador se tomará en consideración la forma geométrica de tanque :

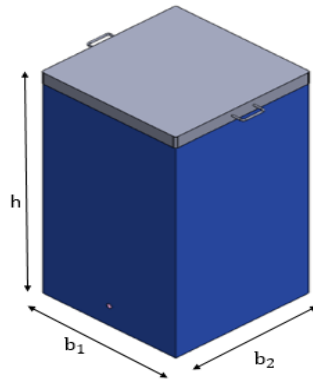


Figura 26-3: Dimensionamiento de un Hipoclorador.
Fuente: Orellana María Fernanda, 2015

A través de la Ecuación 18-1 tenemos el volumen del tanque será igual a:

$$V = (b_1) (b_2) (h)$$

La $b_1 = b_2 = 0,4 \text{ m}$

Se conoce la capacidad del hipoclorador que es de: $0,2 \text{ m}^3$

Por tanto queda conocer la altura que será obtenida mediante la aplicación de la Ecuación 18-1:

$$V = (b_1) (b_2) (h)$$

$$0,2 \text{ m}^3 = (0,4\text{m}) (0,4\text{m}) (h)$$

$$h = 1,25 \text{ m}$$

Entonces las dimensiones del tanque hipoclorador serán:

Altura = $1,25 \text{ m}$

Base 1 = $0,4 \text{ m}$

Base 2 = $0,4 \text{ m}$

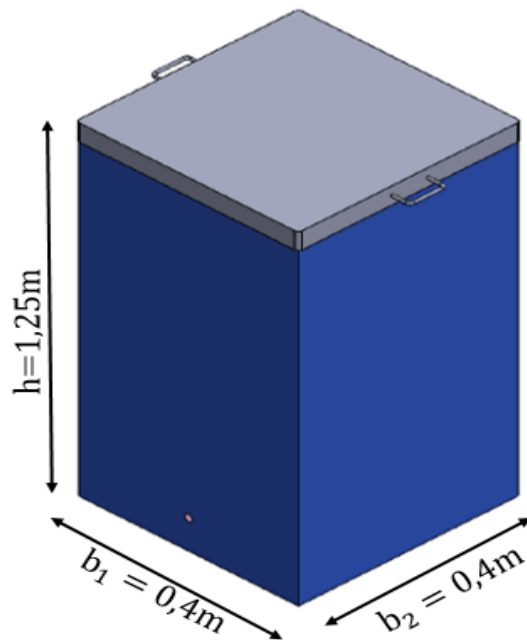


Figura 27-3: Dimensiones del Hipoclorador.
Fuente: Orellana María Fernanda, 2015

El tanque hipoclorador será construido en polietileno de alta densidad debido a que el hipoclorito de calcio es corrosivo.

3.6. Resultados del Dimensionamiento de los Procesos de Potabilización

3.6.1. Proyección Futura

Tabla 16-3: Resultados Proyección Futura (2030)

POBLACIÓN		
	VALOR	UNIDADES
Población del 2015 (P_a)	85	Habitantes
Índice de Crecimiento Anual $\text{\textcircled{R}}$	1,4	%
Período de Tiempo	15	Años
Población Futura (P_f)	105	Habitantes

Fuente: Orellana Maria Fernanda, 2015

3.6.2. Resultado de Caudales para el Diseño de la Planta

Tabla17-3: Resultados de los Caudales para el Diseño

CAUDALES		
	VALOR	UNIDADES
Dotación de agua consumida (Dc)	115	L/hab.*día
Dotacion futura	135,7	L/hab.*día
Gasto medio diario (Q_{med})	0,16	l/s
Gasto máximo diario (Q_{md})	0,21	l/s
Caudal de diseño ($Q_{diseño}$)	0,32	l/s

Fuente: Orellana Maria Fernanda,2015

3.6.3. Resultados de la Torre de Aireación

Tabla 18-3: Resultados del Diseño de la Torre de Aireación

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Numero de torres	N torre	1	unidad
Área total de la torre	At	3	m ²
Área de las bandejas	Ab	1	m ²
Altura de la torre	H	2	m
Numero de bandejas		3	unidades
Espesor de la bandeja	Eb	0,20	m
Separación entre bandejas	Sb	0,40	m
Diámetro del orificio	Do	0,01	m
Numero de orificios		361	unidades

Fuente: Orellana Maria Fernanda,2015

3.6.4. Resultados del Tanque de Almacenamiento de Agua

Tabla 19-3 : Resultados del Tanque de Almacenamiento

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Volumen	V	9857	l
Ancho	A	3,7	m
Largo	L	3,7	m
Altura	H	0,72	m

Fuente: Orellana Maria Fernanda,2015

3.6.5. Resultados Obtenidos del Tanque Hipoclorador

Tabla 20-3 : Resultados del Hipoclorador

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Volumen	V	200	l
Ancho	A	0,4	m
Largo	L	0,4	m
Altura	H	1,25	m

Fuente: Orellana Maria Fernanda,2015

3.7. Requerimiento Presupuestario

3.7.1. Presupuesto General de la Planta de Potabilización

Tabla 21-3: Presupuesto de la Panta de Tratamiento

No.	Rubro / Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio global
1	TORRE DE AIREACIÓN				
2	Limpieza manual del terreno	m2	2,25	5,09	11,45
3	Replanteo y nivelación	m2	1,00	5,00	5,00
4	Excavación manual	m3	0,18	14,25	2,57
5	Relleno compactado manual	m3	0,07	7,63	0,53
6	Replanteo H.S 140 kg/cm2	m3	0,02	171,03	3,42
7	Hormigón simple F´C=210 kg/cm2	m3	0,09	160,00	14,40
8	Encofrado y desencofrado con madera de monte	m2	0,05	12,00	0,60
9	Lamina acero inoxidable e=3mm	m2	4,00	35,00	140,00
10	Tubería PVC 1 1/2"	M	5,00	5,63	28,15
11	Codo PVC 1 1/2 "	U	1,00	2,00	2,00
12	Válvula de compuerta 1 1/2"	U	1,00	10,00	10,00
13	Perfil AL 50X3 mm	Kg	62,00	1,25	77,50
14	Perfil PLT 50X3 mm	Kg	6,00	1,85	11,10
15	Láminas de acero PL e=5mm	Kg	150,00	1,85	277,50
16	Suministro e instalación de bomba de agua de 1/2 Hp	U	1,00	150,00	150,00
					734,22

17	TANQUE DE CAPTACIÓN				
18	Tubería PVC 2"	M	3.000,00	2,50	7.500,00
20	Relleno compacto con suelo natural	m3	1,00	7,63	7,63
2221	Arena de cantera	m3	0,40	13,98	5,59
22	Encofrado y desencofrado con madera de monte	m2	20,00	12,00	240,00
23	Excavación manual, incluye desalojo	m3	10,00	14,25	142,50
24	Replanteo de hormigón simple f'c=140kg/cm2	m3	0,20	171,03	34,21
25	Hormigón simple en muros 210kg/cm2	m3	2,00	160,00	320,00
26	Masillado fino + impermeabilizante, e=3cm, mortero 1:3	m2	2,00	9,38	18,76
27	Malla electrosoldada 10x10	m2	11,00	20,00	220,00
28	Codo PVC 2"	U	100,00	3,00	300,00
29	Tapas de tool corrugadas 4mm (según especificación)	U	1,00	87,27	87,27
30	Enlucido vertical con impermeabilizante	m2	8,00	15,00	120,00
Subtotal					8.995,96

31	TANQUE DE ALMACENAMIENTO PARA LA CLORACIÓN				
32	Tubería PVC 3"	M	5,50	14,50	79,75
33	Encofrado y desencofrado con madera de monte	m2	16,00	12,00	192,00
34	Excavación de zanja incluye desalojo	m3	13,00	14,25	185,25
35	Relleno compacto con suelo natural	m3	8,00	7,63	61,04
36	Arena de cantera	m3	4,00	13,98	55,92
38	Replanteo de hormigón simple f'c=140kg/cm2	m3	0,18	171,03	30,79
39	Hormigón simple en muros 210kg/cm2	m3	6,00	160,00	960,00
40	Masillado fino + impermeabilizante, e=3cm, mortero 1:3	m2	14,00	9,38	131,32
41	Malla electrosoldada 10x10	m2	48,00	20,00	960,00
42	Codo PVC 3"	U	3,00	3,85	11,55
43	Tapas de tool corrugadas 4mm (según especificación)	U	1,00	87,27	87,27
44	Enlucido vertical con impermeabilizante	m2	11,00	15,00	165,00
Subtotal					2.919,89

45	HIPOCLORADOR				
----	---------------------	--	--	--	--

46	planchas de polietileno de alta densidad 150 x150mm	U	7,00	40,00	280,00
47	Tapas de tool corrugadas 4mm (según especificación)	U	1,00	87,27	87,27
48	Tubería de agua de 1/2" ASTM	M	1,35	4,18	5,64
49	Válvula de compuerta 1/2"	U	1,00	4,91	4,91
50	Codo 1/2" X90°	U	2,00	0,85	1,70
				Subtotal	379,52
				TOTAL:	13.029,59

Fuente: Orellana Maria Fernanda,2015

El presupuesto necesario para la implementación de la planta de tratamiento de agua potable para la comunidad de Bellavista es de \$ 13029,59 dólares; sin embargo hay que considerar que la comunidad ya dispone de un tanque de captación, tanque de almacenamiento y cuenta con las tuberías instaladas desde el punto de captación hasta la llegada al tanque de almacenamiento que es de 3 km, infraestructura que será utilizada con fines económicos. Por tanto lo único que será necesario construir será la torre de aireación con sus respectivas instalaciones de tuberías lo cual tendrá un costo de \$ 734,22 dólares y la instalación del tanque hipoclorador con un costo de \$ 379,52 dólares; debiendo realizarse un inversión total de \$ **1113,74** (mil ciento trece dólares con setenta y cuatro centavos).

3.8. Propuesta

La propuesta del diseño consiste en llevar el agua de vertiente desde el punto de captación por medio de tuberías de PVC hasta el sistema de aireación por bandejas, en donde por medio de una bomba de 0,5 hp el agua es elevada 3,5 m de altura aproximada. Con el proceso de aireación lo que se consigue principalmente es eliminar el hierro, el flúor que son parámetros que no cumplen con los límites permisibles para el consumo humano y además aporta al agua un sabor agradable debido al incremento del oxígeno disuelto por medio de la aireación. Sobre las bandejas de aireación se colocará coque que por sus propiedades ayuda a que el proceso sea más eficiente.

Posteriormente el agua es llevada hacia un tanque de almacenamiento y se dosificará una solución de hipoclorito de calcio a la salida tanque por medio de un sistema de goteo desde un hipoclorador para de ésta manera garantizar que el agua esté libre de microorganismos patógenos que puedan afectar la salud de la habitantes de dicha comunidad.

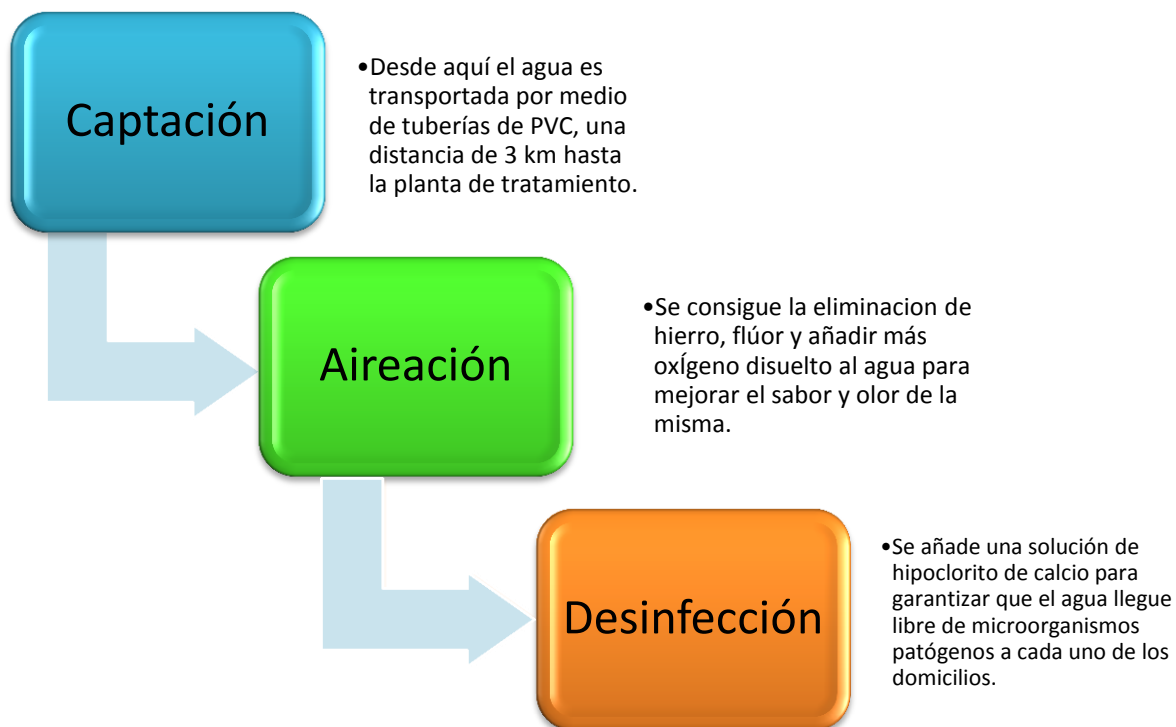


Figura 28-3: Diagrama de Bloques de la Propuesta del Sistema de Tratamiento de Agua Potable.

Fuente: Orellana María Fernanda,2015.

3.9. Análisis y Discusión de Resultados

Una vez que se realizó el muestreo del agua cruda y su respectiva caracterización física, química y microbiológica se conoció que la mayoría de parámetros están cumpliendo con la Norma NTE INEN 1108:2011 Agua Potable. Requisitos. Segunda Revisión, de agua potable excepto hierro y flúor como se puede ver en la Tabla No. 6-2. En base a resultados obtenidos se procedió a simular un proceso de aireación el mismo que fue favorable para la disminución de hierro y flúor obteniendo valores dentro de norma como se puede ver en la Tabla No. 11-2.

Por tanto el tratamiento seleccionado es el idóneo para lograr entregar agua de calidad y apta para el consumo de los habitantes de la comunidad de Bellavista, garantizando su buen vivir y evitando problemas de salud a futuro principalmente por la presencia de flúor en el agua que consumen

CONCLUSIONES

- ✓ Se diseñó un sistema de tratamiento de agua potable para la comunidad de Bellavista del cantón Colta, con lo cual se conseguirá brindar agua de calidad que cumpla con los parámetros de la Norma NTE INEN 1108:2011 Agua Potable. Requisitos. Segunda Revisión.
- ✓ Mediante la caracterización física, química y microbiológica del agua cruda se conoció las condiciones actuales en las que se encuentra el agua destinada al consumo de los habitantes de la comunidad de Bellavista y se conoció que son 2 los parámetros que se encuentran fuera de norma como son el hierro con un valor de 0,48 mg/l y flúor con un valor de 2,5 mg/ l (ver Tabla No. 6-2).
- ✓ El sistema de tratamiento de agua potable para la comunidad de Bellavista diseñado, consiste en un sistema de Aireación por Bandejas; con lo cual se conseguirá mejorar la apariencia del agua en cuanto a las características organolépticas como olor y sabor se demuestra en los resultados. Además se logrará reducir los parámetros que se encuentran fuera del límite permisible como hierro y flúor (ver Tabla No. 8-2). Y se realizará un proceso de desinfección para garantizar que el agua llegue completamente libre de microorganismos patógenos que pueden afectar la salud de los habitantes de la comunidad de Bellavista.
- ✓ Se validó el sistema de tratamiento propuesto mediante la caracterización física, química y microbiológica del agua tratada con lo cual se corroboró que el hierro se redujó desde una concentración de 0,47 a 0,003 mg/l y el flúor de 2,5 mg/l a 1,17 mg/l

RECOMENDACIONES

- ✓ La comunidad de Bellavista debe implementar el diseño propuesto ya que el mismo dará solución a los problemas que se presentan en cuanto a la presencia de flúor y hierro y se conseguirá brindar agua de calidad para cada uno de los habitantes

- ✓ Utilizar la dosis adecuada de hipoclorito de calcio ya que la misma fue determinada experimentalmente y permite generar un cloro residual que actuará en caso de existir la presencia de microorganismos patógenos. (ver Anexo B)

- ✓ Para la preparación de la solución de hipoclorito de calcio tomar las precauciones en cuanto al manejo de dicho producto químico; así como también se debe utilizar mascarilla, guantes, gorra para evitar contacto con la piel y posibles problemas de salud. (ver Anexo C)

- ✓ Al Municipio de Colta dar capacitación a los moradores de la comunidad de Bellavista en cuanto al manejo, almacenamiento, preparación de la solución de hipoclorito de calcio. (ver Anexo C)

- ✓ Se recomienda en lo posible realizar la adquisición de un equipo de medición de cloro residual para realizar la medición de dicho parámetro en el último domicilio donde llega el agua.

BIBLIOGRAFIA

ARBOLEDA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. 3.ed, Bogotá- Colombia. Editorial nomos. Tomo I. 2000, pp. 145-267; 364-582.

ECUADOR, INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION (INEN). Norma Técnica Ecuatoriana 1 108:2006 - Requisitos para el agua de Potable (segunda revisión). Quito-Ecuador. 2006, pp. 3-6.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10608/8/Norma%20Inen%20Agua1108-2.pdf>

2015-06-15

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). Guías para la calidad del agua potable. 3.ed. Volumen I. 2006, pp. 147-422.

www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_fulll_lowres.pdf

2015-06-19.

PERRY, Roberto. Manual del Ingeniero Químico. 6a.ed, México D.F- México. Editorial Mc Graw-Hill. 2002, pp. 505 – 515.

ROMERO, Jairo. Purificación del Agua. 3.ed, México D.F.-México. Alfaomega grupo editor, S.A. 2009, pp. 117-259.

TEBBUTT, T.H. Fundamentos de control de la calidad del agua. 2a.ed, México D.F – México. Editorial Limusa. 1999, pp. 220-239.

ANEXOS:

ANEXO A.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA INEN 1 108:2011.Segunda revisión



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito – Ecuador

NORMA TECNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1 108:2011

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.

1. 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, CaCO3	mg/l	200
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Flúor, F	mg/l	> 1,5
Fósforo, (P-PO4)	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-NO3	mg/l	< 40
Nitritos, N-NO2	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

1) Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.

* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: 210Po, 224Ra, 226Ra, 232Th, 234U, 238U, 239Pu.

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: 60Co, 89Sr, 90Sr, 129I, 131I, 134Cs, 137Cs, 210Pb, 228Ra.

Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Alcanos clorinados	µg/l	2
tetracloruro de carbono		20
Diclorometano		30
1,2 dicloetano		2 000
1,1,1 – tricloetano		
Etanos clorinados	µg/l	5
Cloruro de vinilo		30
1,1 dicloroetano		50
1,2 dicloroetano		70
tricloroetano		40
Tetracloroetano		
Hidrocarburos Aromáticos	µg/l	10
Benceno		170
Tolueno		500
Xileno		200
Etilbenceno		20
Estireno		
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	µg/l	0.3
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	µg/l	0,01
benzo (a)pireno		0,03
benzo (a)fluoranteno		0,03
benzo (k)Fluoranteno		0,03
benzo (ghi)pirileno		0,03

indeno (1,2,3-cd)pireno		
Bencenos clorinados	$\mu\text{g/l}$	300
monoclorobenceno		1 000
1,2-diclorobenceno		300
1,3-diclorobenceno		20
1,4-diclorobenceno		
triclorobenceno (total)		
di(2-etilhexil)adipato	$\mu\text{g/l}$	80
di(2-etilhexil) ftalato	$\mu\text{g/l}$	8
acrylamida	$\mu\text{g/l}$	0,5
epiclorohidrin	$\mu\text{g/l}$	0,4
Hexaclorobutadieno	$\mu\text{g/l}$	0,6
Ácido etilendiaminatetracético EDTA	$\mu\text{g/l}$	200
Ácido nitrotriacético	$\mu\text{g/l}$	200
Dialquil	$\mu\text{g/l}$	
Oxido tributiltin	$\mu\text{g/l}$	2

Pesticidas

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

Acetonitrilos Halogenados		
Dicloroacetonitrilo		90
Dibromoacetonitrilo	µg/l	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).

7. MÉTODOS DE ENSAYO

7.1 Los Métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Mhetods) especificados en su última edición.

ANEXO B.

PREPARACION DE LA SOLUCION DE HIPOCLORITO DE CALCIO AL 0.2%

```
graph LR; A[Pesar 200 gr de hipoclorito de calcio sólido en una balanza] --> B[Diluir en 100 litros de agua destilada]; B --> C[Se obtiene una solución al 0,2 % de hipoclorito de calcio y colocar en el tanque hipoclorador];
```

Pesar 200 gr de hipoclorito de calcio sólido en una balanza

Diluir en 100 litros de agua destilada

Se obtiene una solución al 0,2 % de hipoclorito de calcio y colocar en el tanque hipoclorador

ANEXO C.

FICHA TÉCNICA HIPOCLORITO DE CALCIO



- **Fabricante:** Arch Chemicals, Inc
- **Nombre Químico:** Hipoclorito de calcio al 65%
- **Fórmula Química :** $\text{Ca}(\text{OCl})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- **Número CAS:** 7778-54-3
- **Propiedades Físicas y Químicas**

Parámetro	Especificaciones
Apariencia	Blanco, polvo o en tabletas
Olor	Parecido al Cloro
Solubilidad en agua	18% a 25°C
Humedad	<16%
Ph	10,4 – 10,8 (solución al 1% en agua destilada neutral a 25 °C)
Densidad	0,8 g/cm ³ (Granular) 1,9g/cm ³ (Tabletas)

▪ Composición

Nombre	Especificaciones	Peso Típico
Cloro libre	65 – 80 %	68 %
Cloruro de Sodio, NaCl	10 – 20 %	17 %
Clorato de Calcio, $\text{Ca}(\text{ClO}_3)_2$	0 – 5 %	1,4 %
Cloruro de Calcio, CaCl_2	0 – 5 %	0,5%
Carbonato de Calcio, CaCO_3	0 – 5 %	2,3 %
Hidróxido de Calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$	0 – 4 %	1,64 %
Agua		5,5 – 8,5
Insolubles		< 5% w/w

Parámetro	Arch Product
Arsénico (As)	<1 mg/Kg
Cadmio (Cd)	<1 mg/Kg
Cromo (Cr)	<8 mg/Kg
Hierro (Fe)	<300 mg/Kg

Manganeso (Mn)	<10 mg/Kg
Mercurio (Hg)	<1 mg/Kg
Níquel (Ni)	<8 mg/Kg
Plomo (Pb)	<1 mg/Kg
Antimonio (Sb)	<2 mg/Kg
Selenio (Se)	<2 mg/Kg
Ion Bromato (BrO ₃ ⁻)	< 121 mg/Kg
Ion Clorato (ClO ₃ ⁻)	< 21,1 g/Kg

▪ **Precauciones Para El Manejo, Transporte Y Almacenaje Seguro Del Producto**

1. Manténgase herméticamente cerrado en los contenedores originales.
2. Almacénese en un área fresca, seca y bien ventilada.
3. Almacénese lejos de productos inflamables o combustibles.
4. Mantenga el empaque del producto limpio y libre de toda contaminación, incluyendo, por ejemplo, otros productos para el tratamiento de albercas, ácidos, materiales orgánicos, compuestos que contengan nitrógeno, extintores de fuego de arenilla carbónica (que contengan fosfato monománico), oxidantes, todo líquido corrosivo, materiales inflamables o combustibles, etc.
5. No se almacene a temperaturas superiores a: 52 Grados C. (125 Grados F) Almacenarlo arriba de estas temperaturas pudiera resultar en una descomposición rápida, evolución de gas de cloro y suficiente calor para encender productos combustibles.

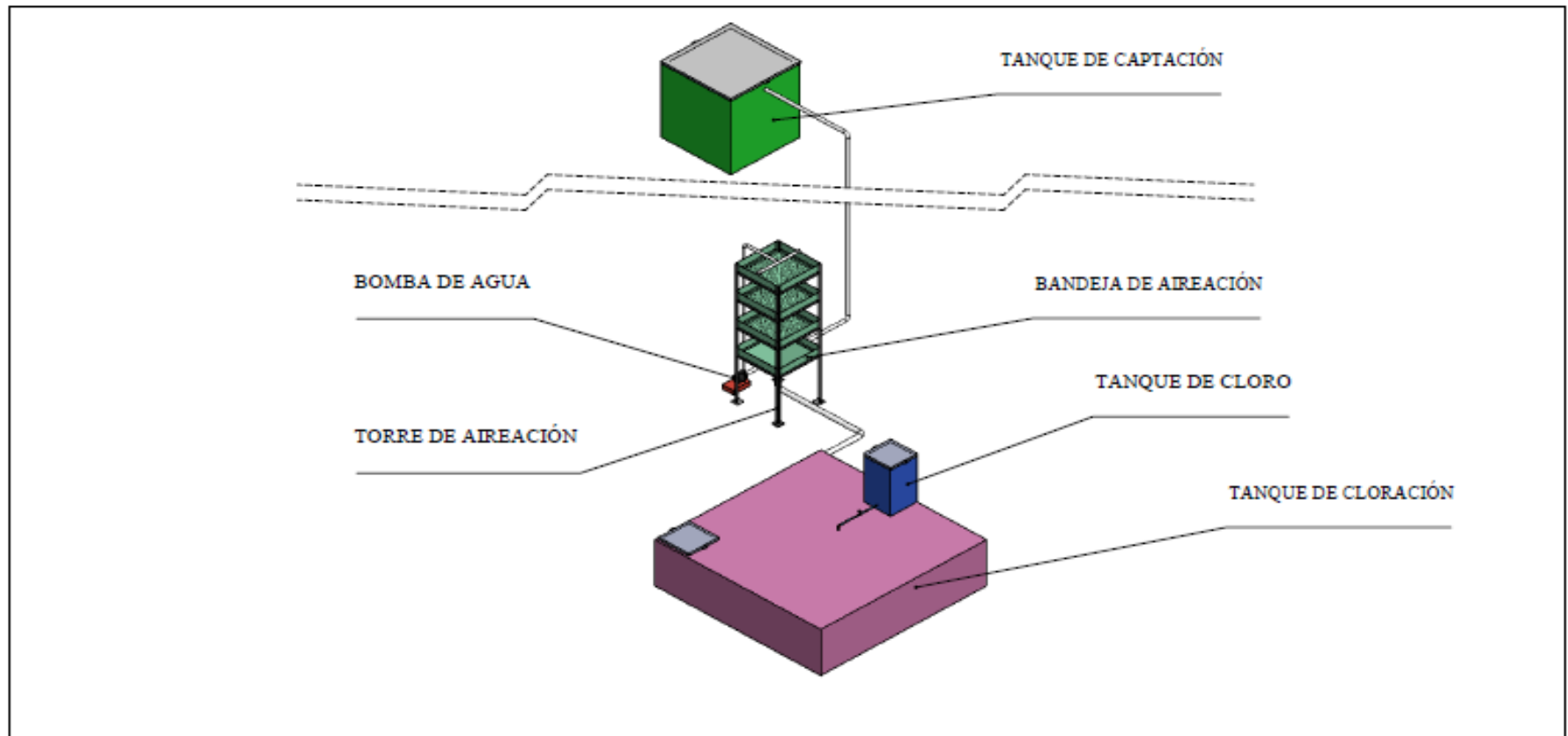
▪ **Primeros Auxilios**

- En caso de inhalación: Traslade a la persona a un lugar donde haya aire fresco. Si la persona no respira, llame a una ambulancia, luego dele respiración artificial, preferiblemente, boca a boca, si es posible. Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico para solicitar más consejos sobre el tratamiento.
- En caso de contacto con la piel o la ropa: Quítese la ropa contaminada. Enjuague la piel inmediatamente con mucha agua de 15 a 20 minutos. Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico para solicitar consejos sobre el tratamiento.
- En caso de contacto con los ojos: Mantenga el ojo abierto y enjuágueselo lenta y suavemente con agua de 15 a 20 minutos. Si tiene lentes de contacto, quíteselos después de los primeros 5 minutos y luego continúe enjuagando. Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico para solicitar consejos sobre el tratamiento.

- Ingestión: en caso de ingestión: Llame a un centro de control de intoxicaciones o a un médico inmediatamente para solicitar consejos sobre el tratamiento. Pida a la persona que beba a sorbos un vaso de agua si puede tragar. No induzca el vómito, a menos que un centro de control de intoxicaciones o un médico se lo indique. No dé nada por la boca a una persona que haya perdido el conocimiento.
- Notas para el médico: El probable daño a las mucosas puede ser una contraindicación para el uso de lavado gástrico

ANEXO D.

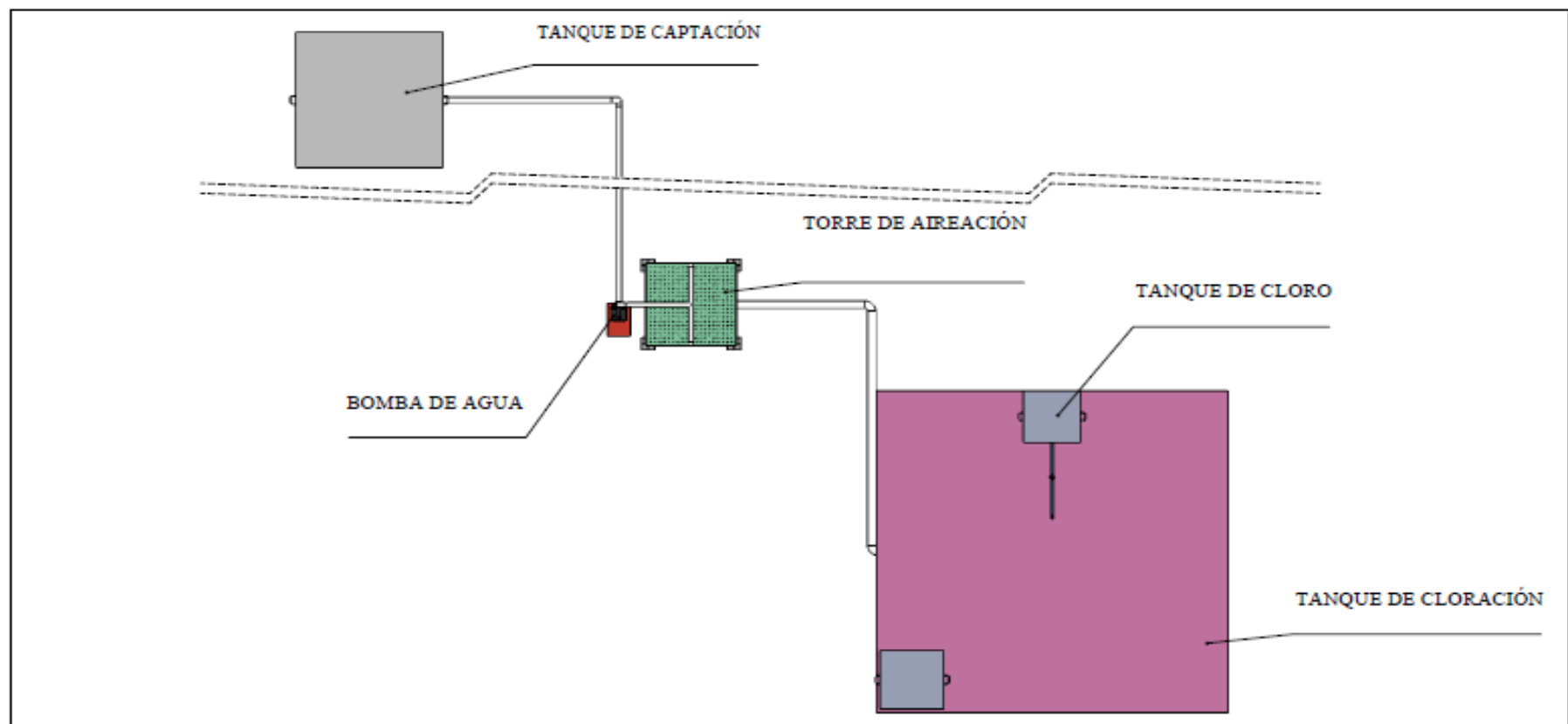
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD DE BELLAVISTA CANTÓN COLTA



NOTAS: VISTA ISOMÉTRICA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA MARÍA FERNANDA ORELLANA	DISEÑO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD DE BELLAVISTA CANTÓN COLTA		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación		Lamina:	Escala:	Fecha:
			1	1:100	18/11/2015

ANEXO E.

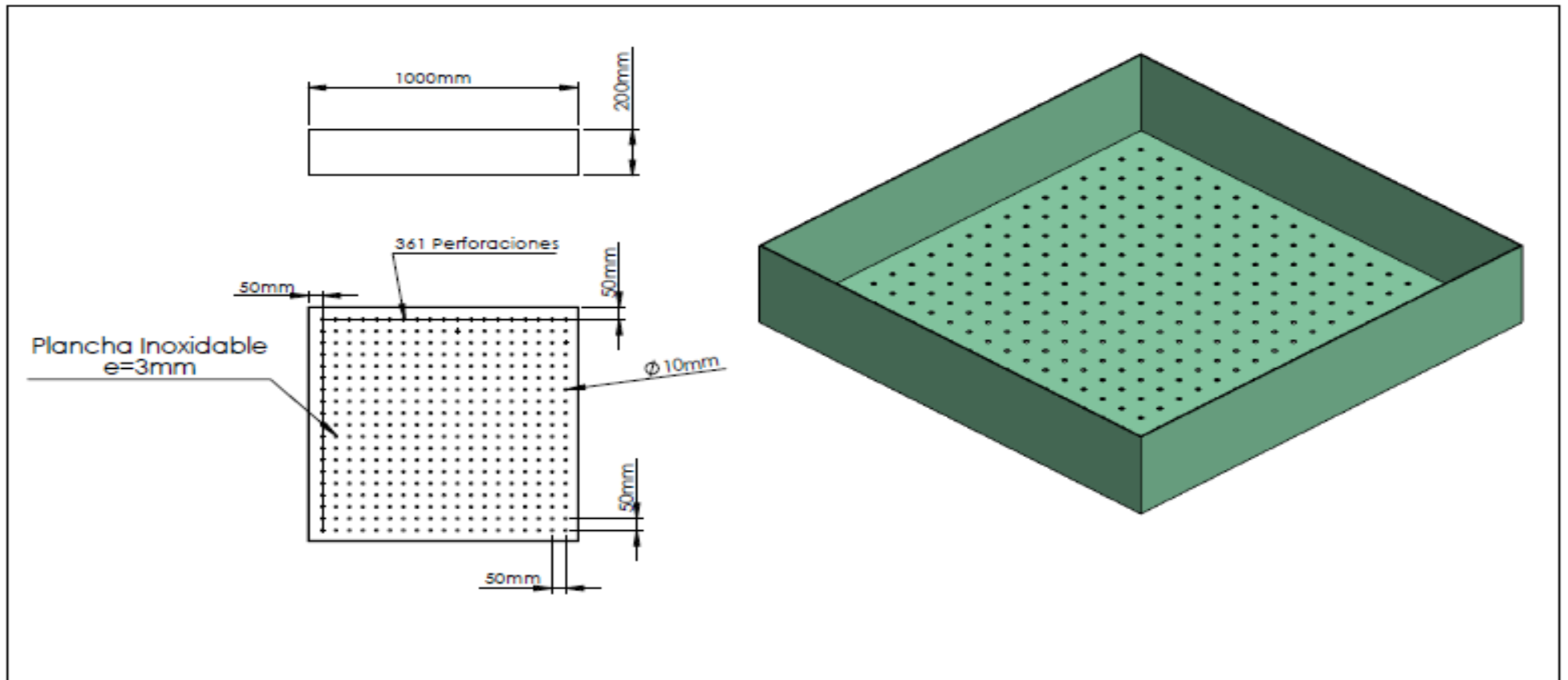
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD DE BELLAVISTA CANTÓN COLTA



NOTAS: VISTA DE PLANTA	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA MARÍA FERNANDA ORELLANA	DISEÑO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD DE BELLAVISTA CANTÓN COLTA		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación		Lamina:	Escala:	Fecha:
			2	1:50	18/11/2015

ANEXO F.

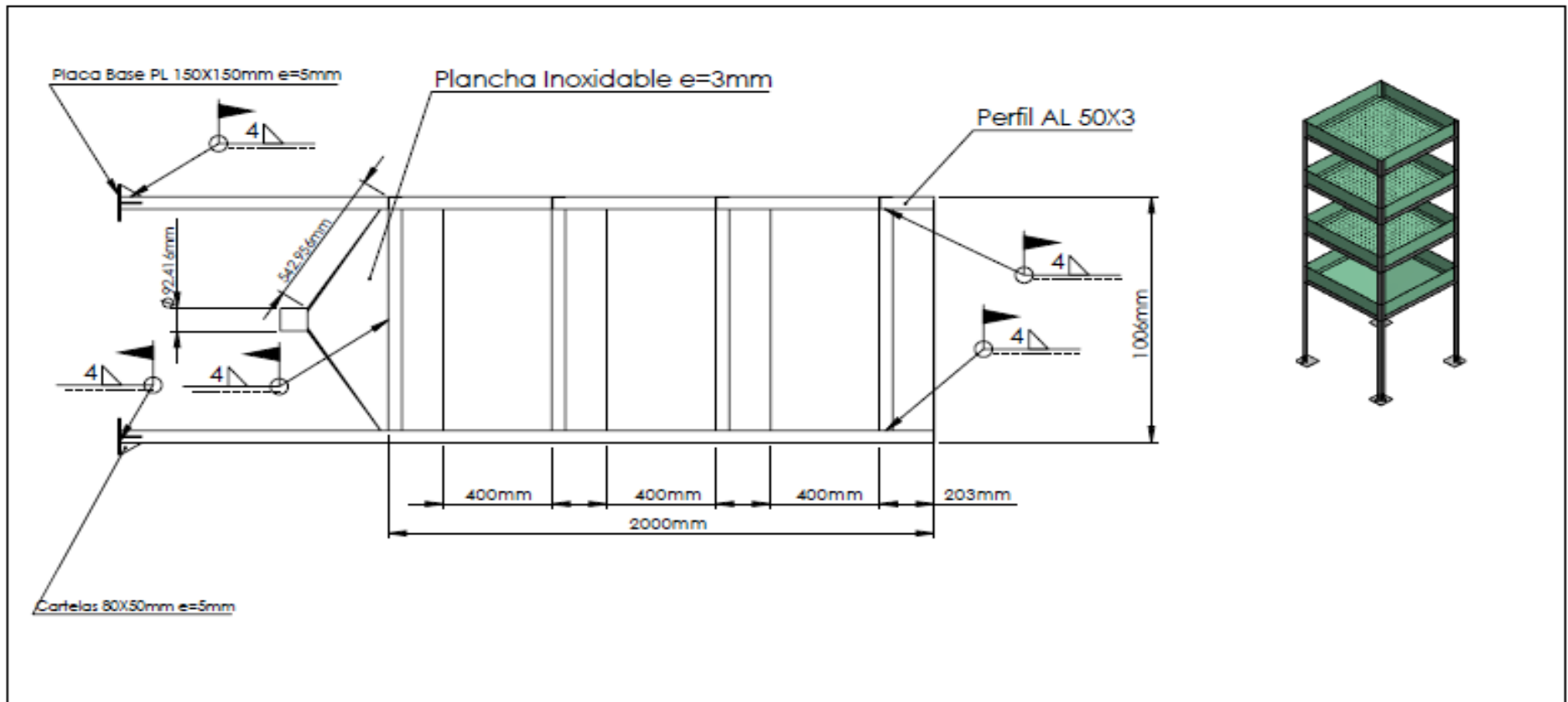
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD DE BELLAVISTA CANTÓN COLTA



NOTAS: BANDEJA DE AIREACIÓN	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA MARÍA FERNANDA ORELLANA	DISEÑO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD DE BELLAVISTA CANTÓN COLTA		
	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Continuación		Lamina:	Escala:	Fecha:
			3	1:10	18/11/2015

ANEXO G.

SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD DE BELLAVISTA CANTÓN COLTA



NOTAS: TORRE DE AIREACIÓN	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA MARÍA FERNANDA ORELLANA	DISEÑO DE SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA COMUNIDAD DE BELLAVISTA CANTÓN COLTA		
	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Aprobado		<input type="checkbox"/> Preliminar	<input type="checkbox"/> Continuación	<input checked="" type="checkbox"/> Información
				Lamina:	Escala:	Fecha:
				7	1:20	18/11/015