



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **FACULTAD DE CIENCIAS**

### **ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

#### **“DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CABECERA PARROQUIAL DE COLUMBE CANTÓN COLTA”**

##### **TESIS DE GRADO**

**Previa la obtención del Título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR**

**CRISTIAN RAMÓN YANQUI USHIÑA**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

**-2014-**

*Quiero agradecer a Dios por haberme dado unos Padres que siempre han sabido estar en los momentos más difíciles, por el apoyo incondicional, por sus palabras de aliento para seguir adelante y no rendirme frente a los obstáculos que se presentan en el día a día.*

*A mi hermano Javier, a mi hermana Verónica, a mi abuelita Victoria, a Diana Salazar, que son las personas que siempre me han sabido aconsejar y darme el impulso necesario para acabar con esta etapa de mi vida, a mi sobrino Alejandro que ha traído felicidad a nuestro hogar y a nuestras vidas.*

*Al Ing. Mario Villacrés a la Ing. Mónica Andrade; Director y Miembro del Tribunal de Tesis, quienes han sido un pilar fundamental para realizar este trabajo de investigación, ya que han aportado con sus conocimientos y experiencia.*

*Al GAD Municipal del Cantón Colta, por permitirme realizar el presente estudio, y a todas las personas que de alguna manera aportaron con sus conocimientos.*

*Dedico el presente trabajo a mis Padres Mercedes Ushiña y Ramón Yanqui ya que gracias a su trabajo y sacrificio he podido terminar con esta etapa de mi vida.*

*A mi padre que en donde quiera que se encuentre ha sido uno de los motivos más importantes para culminar con el presente trabajo, siempre le recordare por todos los buenos momentos que pasamos.*

*A mi familia y amigos que siempre han estado en los buenos y malos momentos, gracias a todos por su apoyo incondicional.*

*Cristian R. Yanqui Ushiña*

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. Silvio Álvarez

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**DECANO FAC CIENCIAS**

Ing. Mario Villacrés

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA**

Ing. Mario Villacrés

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Mónica Andrade

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Eduardo Tenelanda

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**COORDINADOR**

**SISBIB ESPOCH**

**NOTA**

\_\_\_\_\_

“Yo, CRISTIAN RAMÓN YANQUI USHIÑA, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis; y el patrimonio de la tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO”

---

CRISTIAN RAMÓN YANQUI USHIÑA

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Área de la sección transversal de los canales
g	Aceleración de la gravedad
$h_c$	Altura crítica
$h_1$	Altura de agua en la sección 1
$A_c$	Altura de la cresta
$h_r$	Altura de la resina
$h_2$	Altura del agua en la sección 2
$H_D$	Altura del desarenador
A	Altura del tanque
$H_t$	Altura del tanque
b	Ancho
$A_d$	Ancho del desarenador
$B_F$	Ancho del floculador
B	Ancho del tanque
$A_T$	Área del tanque
$A_S$	Área superficial
H	Carga disponible
Q	Caudal de diseño
$Q_{\text{tratamiento}}$	Caudal de planta de tratamiento
q	Caudal específico
cm	Centímetros
$\text{cm}^2/\text{s}$	Centímetros cuadrados por segundo
cm/s	Centímetros por segundo
$\text{cm}/\text{s}^2$	Centímetros por segundo al cuadrado
$C_D$	Coefficiente de arrastre
n	Coefficiente de Manning, adimensional
$K_1$	Coefficiente de variación diaria
$K_2$	Coefficiente de variación horaria
C	Concentración de la solución
K	Constante empírica
$\rho_a$	Densidad de arena
P	Densidad del agua
d	Diámetro de la partícula
$D_t$	Diámetro del tanque

$L_m$	Distancia de salto
D	Dosis del cloro
$D_B$	Dotación básica
$D_F$	Dotación futura
$D_{Gg}$	Dureza granos galón
$D_p$	Dureza promedio
e	Espacio libre entre los tabiques
$E_t$	Espesor del tabique
E	Expansión de la resina al regenerarla
$F_M$	Factor de mayorización
$f_s$	Factor de seguridad
$Q_{Mh}$	Gasto máximo horario
$Q_{Md}$	Gasto máximos diario
$Q_{med}$	Gasto medio diario
G	Gradiente de velocidad
$g/cm^3$	Gramos por centímetro cúbico
$1ft^3$	Granos de resina
$G_d$	Granos día
granos/día	Granos por día
granos/galón	Granos por galón
$Kg/d$	Kilogramos por día
$L_D$	Largo del desarenador
$l_T$	Largo del tanque
L/Habitante x día	Litro por habitante por día
L/s	Litro por segundo
$L_j$	Longitud del resaltado
$L_E$	Longitud efectiva del canal
$l_a$	Longitud recorrida por el agua
$L_T$	Longitud total de la cámara de floculación
m	Metros
$m^2$	Metros al cuadrado
$m^2/s$	Metros cuadrados por segundo

$m^3/s$	Metros cúbicos por segundo
m/s	Metros por segundo
ml/L	Miligramos por litro
$N/m^3$	Newton por metro cúbico
$G_T$	Numero de Camp, adimensional
N	Número de canales, adimensional
F	Numero de Froude
$F_1$	Numero de Froude, adimensional
P	Número de habitantes (Habitantes proyectados)
$N_{RE}$	Numero de Reynolds, adimensional
Pa.s	Pascal por segundo
$h_p$	Perdida de cargo en el resalto
$h_T$	Pérdida total de energía
$h_a$	Pérdidas adicionales
$h_f$	Pérdidas por fricción en el tanque
$P_R$	Periodo de retención
$\Gamma$	Peso específico del agua
$P_{Cl}$	Peso necesario del cloro
$N_o$	Población al inicio del periodo
$N_t$	Población futura, resultado de la proyección
%	Porcentaje
$P_a$	Profundidad del agua
R	Radio hidráulico
s	Segundos
z	Separación entre tabiques
r	Tasa media anual de crecimiento
$T_c$	Tiempo de contacto
$T_m$	Tiempo de mezcla
T	Tiempo de retención
$T_{us}$	Total de usuarios servidos
$V_{ar}$	Velocidad de arrastre
V	Velocidad de entrada



$v$	Velocidad de fluido
$V_S$	Velocidad de sedimentación
$V_h$	Velocidad el Horizonte
$V_1$	Velocidad en la sección 1
$V_2$	Velocidad en la sección 2
$V_m$	Velocidad media
$\mu$	Viscosidad cinemática
$V_a$	Volumen de agua
$V_{ac}$	Volumen de agua consumida
$V_r$	Volumen de la resina
$V_H$	Volumen del hipoclorador
$V_T$	Volumen del tanque
$V_{TM}$	Volumen del tanque para la mezcla con cloro

## TABLA DE CONTENIDOS

	Pp.
RESUMEN.....	I
SUMMARY.....	II
INTRODUCCIÓN.....	III
ANTECEDENTES.....	IV
JUSTIFICACIÓN.....	V
OBJETIVOS.....	VI

### CAPITULO I

#### MARCO TEORICO

<b>1 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 AGUA POTABLE .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Importancia del Agua Potable .....	1
1.1.2 Calidad del Agua .....	2
<b>1.2 FUENTES DE AGUA .....</b>	<b>3</b>
1.2.1 Aguas Superficiales .....	4
1.2.2 Aguas Subterráneas .....	4
<b>1.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA .....</b>	<b>4</b>
1.3.1 Análisis Físico del Agua.....	5
1.3.1.1 Turbidez.....	5
1.3.1.2 Color .....	6
1.3.1.3 Olor y Sabor.....	6
1.3.1.4 Temperatura.....	7
1.3.1.5 Sólidos .....	7
1.3.1.6 Conductividad.....	8
1.3.2 Análisis Químico del Agua.....	9
1.3.2.1 Alcalinidad.....	9
1.3.2.2 Dureza.....	10

1.3.2.3	Nitrógeno .....	11
1.3.2.4	Sulfatos .....	12
1.3.2.5	Cloruros .....	12
1.3.2.6	Fluoruros.....	13
1.3.2.7	Hierro y Manganeseo .....	13
1.3.3	Análisis Microbiológico del Agua.....	14
<b>1.4</b>	<b>EFFECTOS SOBRE LA SALUD DE ALGUNOS CONTAMINANTES.....</b>	<b>15</b>
<b>1.5</b>	<b>PROCESO PREVIO A LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA .....</b>	<b>15</b>
<b>1.6</b>	<b>PROCESOS DE POTABILIZACION DEL AGUA .....</b>	<b>16</b>
1.6.1	Captación.....	16
1.6.2	Captación de Aguas Subterráneas .....	16
1.6.3	Aducción.....	17
1.6.3.1	Conducción por Gravedad (Acueductos, Canales).....	17
1.6.3.2	Conducción Forzada (Tuberías) .....	17
<b>1.7</b>	<b>CAUDAL DE DISEÑO .....</b>	<b>17</b>
1.7.1	Población de Diseño .....	18
1.7.2	Dotación Básica.....	18
1.7.3	Dotación Futura .....	18
1.7.4	Gasto Medio Diario .....	19
1.7.5	Gasto Máximo Diario .....	19
1.7.6	Gasto Mínimo Horario.....	20
1.7.7	Caudal de la Planta de Tratamiento.....	20
<b>1.8</b>	<b>DESARENADOR .....</b>	<b>20</b>
1.8.1	Zonas que Componen un Desarenador.....	21
1.8.2	Número de Reynolds .....	22
1.8.3	Velocidad de Sedimentación .....	24
1.8.4	Número de Reynolds .....	24
1.8.5	Coefficiente de Arrastre.....	25
1.8.6	Velocidad de Sedimentación en la Zona de Transición .....	25
1.8.7	Área Superficial.....	26

1.8.8	Dimensiones del Desarenador .....	26
1.8.9	Condiciones de Diseño .....	27
1.8.10	Velocidad del Horizonte .....	27
1.8.11	Velocidad de Arrastre .....	27
1.8.12	Altura del Desarenador .....	28
1.8.13	Periodo de Retención.....	28
1.8.14	Criterios de Diseño .....	29
<b>1.9</b>	<b>MEZCLA RAPIDA .....</b>	<b>29</b>
1.9.1	Vertederos Rectangulares .....	29
1.9.1.1	Caudal Especifico .....	30
1.9.1.2	Carga Disponible .....	31
1.9.1.3	Altura Crítica .....	31
1.9.1.4	Altura del Agua en la Sección 1 .....	31
1.9.1.5	Velocidad del Agua en La Sección 1.....	32
1.9.1.6	Numero de Froude .....	32
1.9.1.7	Altura del Agua en la Sección 2 .....	33
1.9.1.8	Velocidad del Agua en la Sección 2.....	33
1.9.1.9	Longitud del Resalto.....	34
1.9.1.10	Distancia del Salto .....	34
1.9.1.11	Pérdida de Carga en el Resalto .....	34
1.9.1.12	Velocidad Media en el Resalto.....	35
1.9.1.13	Tiempo de Mezcla .....	35
1.9.1.14	Gradiente de Velocidad .....	36
1.9.2	Criterios de Diseño .....	36
<b>1.10</b>	<b>FLOCULACIÓN QUÍMICA DEL AGUA.....</b>	<b>36</b>
<b>1.11</b>	<b>FLOCULADOR.....</b>	<b>37</b>
1.11.1	Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal .....	37
1.11.2	Distancia Recorrida por el Agua .....	38
1.11.3	Volumen de Agua.....	38
1.11.4	Sección Transversal de los Canales.....	39

1.11.5	Profundidad del Agua.....	39
1.11.6	Espacio Libre entre los Tabiques y la Pared del Tanque.....	40
1.11.7	Longitud Efectiva de cada Canal.....	40
1.11.8	Número Requerido de Canales.....	40
1.11.9	Longitud Total de la Cámara de Floculación .....	41
1.11.10	Radio Hidráulico.....	41
1.11.11	Pérdidas por Fricción en el Tanque .....	42
1.11.12	Pérdidas Adicionales .....	42
1.11.13	Pérdida Total de Energía .....	43
1.11.14	Gradiente de Velocidad .....	43
1.11.15	Numero de Camp.....	43
1.11.16	Criterios de Diseño .....	44
<b>1.12</b>	<b>INTERCAMBIO IÓNICO.....</b>	<b>45</b>
1.12.1	Intercambio Catiónico .....	45
1.12.2	Tanque de Intercambio Catiónico.....	46
1.12.2.1	Dureza Total Expresada en Granos por Galón .....	46
1.12.2.2	Granos Necesarios en un Día.....	46
1.12.2.3	Volumen de Resina.....	47
1.12.2.4	Volumen Tanque .....	47
1.12.2.5	Área del Tanque.....	48
1.12.2.6	Diámetro del Tanque .....	48
1.12.2.7	Altura del Tanque .....	48
<b>1.13</b>	<b>DESINFECCIÓN.....</b>	<b>49</b>
1.13.1	Peso Necesario de Cloro.....	49
1.13.2	Volumen del Hipoclorador .....	49
1.13.3	Tanque de Contacto para la Mezcla de Cloro.....	50
1.13.4	Altura del Tanque en el que se Realizara la Mezcla.....	50
<b>1.14</b>	<b>PRUEBA DE JARRAS .....</b>	<b>51</b>

## **CAPITULO II**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

<b>2</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>52</b>
<b>2.1</b>	<b>MUESTREO .....</b>	<b>52</b>
2.1.1	Localización.....	52
2.1.2	Recopilación de la Información.....	52
2.1.3	Plan de Muestreo .....	52
<b>2.2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>53</b>
2.2.1	Metodología de Trabajo.....	53
2.2.2	Tratamiento de Muestras .....	53
2.2.3	Métodos .....	54
2.2.3.1	Técnicas .....	55
<b>2.3</b>	<b>DATOS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>70</b>
2.3.1	Descripción del Sistema de Agua Potable Actual .....	70
2.3.2	Caracterización del Agua en el Sistema de Tratamiento .....	70
2.3.3	Parámetros Fuera de Norma .....	76

## **CAPITULO III**

### **CALCULOS Y RESULTADOS**

<b>3</b>	<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS .....</b>	<b>78</b>
<b>3.1</b>	<b>CÁLCULOS .....</b>	<b>78</b>
3.1.1	Caudal de Diseño.....	78
3.1.1.1	Población Futura.....	78
3.1.1.2	Dotación Básica.....	78
3.1.1.3	Dotación Futura .....	79
3.1.1.4	Gasto Medio Diario .....	79
3.1.1.5	Gasto Máximo Diario .....	79

3.1.1.6	Gasto Máximo Horario.....	80
3.1.1.7	Caudal de la Planta de Tratamiento.....	80
3.1.2	Desarenador.....	80
3.1.2.1	Número de Reynolds.....	81
3.1.2.2	Velocidad de Sedimentación.....	81
3.1.2.3	Número de Reynolds.....	81
3.1.2.4	Coefficiente de Arrastre.....	82
3.1.2.5	Velocidad de Sedimentación en la Zona de Transición.....	82
3.1.2.6	Área Superficial.....	82
3.1.2.7	Dimensiones del Desarenador.....	83
3.1.2.8	Condiciones de Diseño.....	83
3.1.2.9	Velocidad del Horizonte.....	83
3.1.2.10	Velocidad de Arrastre.....	84
3.1.2.11	Altura del Desarenador.....	84
3.1.2.12	Periodo de Retención.....	84
3.1.3	Vertedero Rectangular.....	85
3.1.3.1	Caudal Especifico.....	85
3.1.3.2	Carga Disponible.....	86
3.1.3.3	Altura Crítica.....	86
3.1.3.4	Altura del Agua en la Sección 1.....	86
3.1.3.5	Velocidad del Agua en la Sección 1.....	87
3.1.3.6	Número de Froude.....	87
3.1.3.7	Altura del Agua en la Sección 2.....	88
3.1.3.8	Velocidad del Agua en la Sección 2.....	88
3.1.3.9	Longitud del Resalto.....	88
3.1.3.10	Longitud del Salto.....	89
3.1.3.11	Pérdida de Carga en el Resalto.....	89
3.1.3.12	Velocidad Media.....	89
3.1.3.13	Tiempo de Mezcla.....	90
3.1.3.14	Gradiente de Velocidad.....	90
3.1.4	Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal.....	91

3.1.4.1	Distancia Recorrida por el Agua .....	91
3.1.4.2	Volumen del Agua.....	92
3.1.4.3	Sección Transversal de los Canales.....	92
3.1.4.4	Profundidad del Agua.....	92
3.1.4.5	Espacio Libre entre los Tabiques y la Pared del Tanque.....	93
3.1.4.6	Longitud efectiva de cada Canal .....	93
3.1.4.7	Número Requerido de Canales.....	94
3.1.4.8	Longitud Total de la Cámara De Floculación .....	94
3.1.4.9	Radio Hidráulico.....	94
3.1.4.10	Pérdidas por Fricción en el Tanque .....	95
3.1.4.11	Pérdidas Adicionales .....	95
3.1.4.12	Pérdida Total de Energía .....	95
3.1.4.13	Gradiente de Velocidad .....	96
3.1.4.14	Número de Camp.....	96
3.1.4.15	Dosificación del Policloruro de Aluminio.....	97
3.1.5	Tanque Intercambiador de Cationes.....	98
3.1.5.1	Dureza Expresada en Granos por Galón.....	98
3.1.5.2	Granos Necesarios por Día.....	98
3.1.5.3	Volumen de la Resina.....	99
3.1.5.4	Volumen del Tanque .....	99
3.1.5.5	Área del Tanque.....	99
3.1.5.6	Diámetro del Tanque .....	100
3.1.5.7	Altura del Tanque .....	100
3.1.6	Ciclos de Regeneración de la Resina.....	101
3.1.7	Tanque de Salmuera .....	102
3.1.8	Dosificación del Cloro.....	102
3.1.8.1	Peso de Cloro Necesario.....	103
3.1.8.2	Volumen del Hipoclorador .....	103
3.1.8.3	Volumen del Tanque para la Mezcla de Cloro .....	103
3.1.8.4	Altura del Tanque para la Mezcla de Cloro.....	104



<b>3.2</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>105</b>
3.2.1	Caudal de Diseño.....	105
3.2.2	Desarenador .....	105
3.2.3	Vertedero Rectangular .....	106
3.2.4	Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal .....	107
3.2.5	Tanque Intercambiador de Cationes .....	107
3.2.6	Desinfección .....	108
<b>3.3</b>	<b>PRUEBA DE JARRAS</b> .....	<b>108</b>
3.3.1	Resultado Análisis Físico-Químico y Microbiológico del Agua Tratada .....	108
<b>3.4</b>	<b>REDIMIENTO DE LA POTABILIZACIÓN</b> .....	<b>112</b>
<b>3.5</b>	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>113</b>
<b>3.6</b>	<b>PROPUESTA</b> .....	<b>116</b>
<b>3.7</b>	<b>PRESUPUESTO</b> .....	<b>117</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>120</b>
4.1	CONCLUSIONES .....	120
4.2	RECOMENDACIONES .....	121

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1Clasificación del Agua Según su Dureza .....	10
Tabla 1.2Principales Cationes que Causan la Dureza del Agua.....	11
Tabla 1.3Principales Formas del Cloro en el Agua .....	12
Tabla 1.4 Efectos sobre la Salud de algunos Contaminantes .....	15
Tabla 1.5Relación entre el Diámetro de las Partículas y Velocidad de Sedimentación .....	23
Tabla 1.6Propiedades de la Arena y Agua .....	29
Tabla 1.7Valores Adoptados para el Diseño .....	36
Tabla 1.8Parámetros de Diseño para Floculadores Hidráulicos.....	44
Tabla 1.9Valores Típicos de Coeficiente de Rugosidad.....	44
Tabla 2.1 Recolección de Muestras.....	52
Tabla 2.2 Parámetros para Agua Potable.....	53
Tabla 2.3 Potencial de Hidrogeno pH .....	55
Tabla 2.4Determinación del Color .....	55
Tabla 2.5Determinación de la Turbiedad .....	56
Tabla 2.6Determinación de la Conductividad .....	57
Tabla 2.7Determinación de Sólidos Totales Disueltos.....	58
Tabla 2.8Determinación de Fosfatos .....	59
Tabla 2.9Determinación de Hierro .....	60
Tabla 2.10Determinación de Magnesio.....	61
Tabla 2.11Determinación de Nitritos .....	62
Tabla 2.12Determinación de Nitratos.....	63
Tabla 2.13Determinación de Sulfatos .....	64
Tabla 2.14Determinación de Calcio .....	65
Tabla 2.15Determinación de Alcalinidad Total .....	66
Tabla 2.16Determinación de la Dureza Total.....	67
Tabla 2.17Determinación del Cloro Residual .....	68
Tabla 2.19 Resultados Físico-Químico del Agua Día 1 .....	71
Tabla 2.20 Análisis Microbiológicos Día 1 .....	71
Tabla 2.21 Resultados Físico-Químico del Agua Día 2 .....	72

Tabla 2.22 Resultados Físico-Químico del Agua Día 3 .....	73
Tabla 2.23 Resultados Físico-Químico del Agua Día 7 .....	74
Tabla 2.24 Promedio de los Análisis Físico-Químicos .....	75
Tabla 2.25 Parámetros Fuera de Norma .....	76
Tabla 3.1 Resultado del Caudal de Diseño .....	105
Tabla 3.2 Resultado del Cálculo del Desarenador .....	105
Tabla 3.3 Resultado del Cálculo del Vertedero Rectangular .....	106
Tabla 3.4 Resultado del Cálculo del Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal .....	107
Tabla 3.5 Resultado del Cálculo del Tanque Intercambiador de Cationes .....	107
Tabla 3.6 Resultado del Cálculo de Dosificación del Cloro .....	108
Tabla 3.7 Análisis Físico-Químico del Agua Tratada .....	108
Tabla 3.8 Análisis Microbiológico del Agua Tratada .....	112
Tabla 3.9 Rendimiento de Potabilización .....	112
Tabla 3.10 Presupuesto para la Implementación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable .....	117
Tabla 3.11 Costo total de la inversión .....	118
Tabla 3.12 Costo de Operación por Día .....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Desarenador de Flujo Horizontal .....	22
Figura 1.2 Vertedero Rectangular .....	30
Figura 1.3 Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal .....	38
Figura 1.4 Intercambio de Iones .....	45
Figura 3.1 Dimensiones del Desarenador .....	85
Figura 3.2 Dimensionamiento del Vertedero Rectangular .....	91
Figura 3.3 Dimensionamiento del Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal .....	98
Figura 3.4 Dimensionamiento del Tanque Intercambiador de Cationes .....	101
Figura 3.5 Dimensionamiento del Tanque para la Mezcla de Cloro .....	104

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 Parámetros Físicos-Químicos Fuera de Norma.....	76
Gráfico 2.2 Parámetros Físicos-Químicos Fuera de Norma.....	76
Gráfico 2.3 Parámetros Microbiológicos Fuera de Norma.....	77
Gráfico 3.1 Parámetros Físicos-Químicos del Agua Tratada .....	110
Gráfico 3.2 Parámetros Físicos-Químicos del Agua Tratada .....	111
Gráfico 3.3 Análisis Microbiológicos del Agua Tratada.....	112
Gráfico 3.4 Parámetro Fosfato, Comparación entre Agua Cruda y Agua Tratada.....	114
Gráfico 3.5 Parámetro Alcalinidad, Comparación entre Agua Cruda y Agua Tratada .....	115
Gráfico 3.6 Análisis Microbiológico, Comparación entre Agua Cruda y Agua Tratada ...	115

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I	NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN1108:2011 AGUA POTABLE. REQUISITOS
ANEXO II	FICHA TÉCNICA POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)
ANEXO III	FICHA TÉCNICA RESINA CATIÓNICA FUERTEMENTE ÁCIDA
ANEXO IV	PROCEDIMIENTO PARA DOSIFICAR EL POLICLORURO DE ALUMINIO
ANEXO V	PROCEDIMIENTO PARA ACTIVAR Y REGENERAR LA RESINA CATIÓNICA DE ACIDO FUERTE
ANEXO VI	PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DEL CLORO
ANEXO VII	RESULTADO PROMEDIO DEL ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DEL AGUA CRUDA
ANEXO VIII	RESULTADO DEL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL DIA 1
ANEXO IX	RESULTADO DE LOS ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DEL AGUA TRATADA
ANEXO X	RESULTADO DEL ANALISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA TRATADA
ANEXO XI	DESARENADOR VISTA FRONTAL
ANEXO XII	DESARENADOR VISTA PLANTA
ANEXO XIII	VERTEDERO RECTANGULAR
ANEXO XIV	FLOCULADOR VISTA FRONTAL
ANEXO XV	FLOCULADOR VISTA PLANTA
ANEXO XVI	FLOCULADOR VISTA LATERAL
ANEXO XVII	TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES VISTA FRONTAL

ANEXO XVII

TANQUE INTERCAMBIADOR DE  
CATIONES VISTA FRONTAL CORTE

ANEXO XVIII

TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y  
DESINFECCIÓN

ANEXO XIX

PLANTA DE POTABILIZACIÓN DEL  
AGUA

ANEXO XX

## RESUMEN

En la presente investigación se presenta información acerca del diseño de una planta de tratamiento de agua potable para la Cabecera Parroquial de Columbe, Cantón Colta, Provincia de Chimborazo.

Se realizó el análisis físico-químicos y microbiológicos, y se pudo determinar que existen parámetros que se encuentran fuera de límite según establece la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos”, entre los cuales tenemos: alcalinidad 320 mg/L, fosfatos 0,94 mg/L coliformes totales 550 mg/L, coliformes fecales 84 mg/L.

Se realizó la prueba de jarras, encontrando la dosificación adecuada de policloruro de aluminio, de igual manera se determinó la cantidad necesaria de resinas catiónicas de ácido fuerte, cuyos análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis técnicos, Facultad de Ciencias, ESPOCH.

La planta de tratamiento de agua potable está diseñada para un caudal de 15,48 L/s, consta de un desarenador, vertedero rectangular, floculador hidráulico de flujo horizontal, dos tanques intercambiador de cationes y el tanque de almacenamiento donde se realizara la desinfección con una capacidad de 32 m<sup>3</sup>.

Se diseñó el sistema de tratamiento de agua potable más adecuado, obteniendo como resultado: alcalinidad 220 mg/L fosfatos 0,28 mg/L y ausencia en lo que corresponde a coliformes totales y fecales, es decir que se cumple con las exigencias que establece la normativa vigente.

El tratamiento que se propone garantizara un proceso eficiente que generara agua de calidad para la Cabecera Parroquial de Columbe del Cantón Colta por lo que se recomienda implementar dicho diseño.



## SUMMARY

A treatment plant of drinking water for the parish Columbe, Colta Canton, province of Chimborazo, was designed to improve the water quality and population health. The analysis of physical - chemical and microbiological were made and determined that the parameters are outside the limits between which have; alkalinity 320 mg/L phosphate 0,94 mg/L, total coliforms 550 mg/L, fecal coliforms 84 mg/L, this information was obtained by comparing the data obtained with the technical standard Ecuadorian NTE INEN 1108:2011.

Test of jars found adequate of aluminum polychloride dosage, in the same way it was determined the required amount of resin cationic of strong acid, whose analyses were performed in the laboratory of technical analysis, of Sciences Faculty of ESPOCH, the drinking water treatment plant is designed for a flow of 15.48 L/s, consists of a desander, rectangular landfill, hydraulic flocculator horizontal flow, two cations exchanger tanks and storage tank where the disinfection will take place.

The most appropriate drinking water treatment system, obtained as a result: alkalinity 220 mg/L, phosphates 0.28 mg/L and absence of total and fecal coliforms, this water complies with requirements the current regulations.

The proposed treatment will ensure an efficient generate process of quality water for Parish Colta canton Columbe, this study recommended to implement the drinking water treatment plant design.

## INTRODUCCIÓN

Una de las necesidades más importantes del hombre es el consumo de agua de calidad, por tanto es necesario tratarla de una manera óptima antes de ser consumida.

El GAD Municipal del Cantón de Colta a través del departamento de Agua Potable vio la necesidad de mejorar la calidad del agua y por ende la salud de la población de Columbe es por eso que se realizó la presente investigación.

Para este estudio se pudo observar detalladamente el proceso de recorrido del agua desde la vertiente hasta su distribución, se detectó deficiencias en todo el proceso lo que provoca que el servicio de Agua Potable sea de una deficiente calidad.

En esta investigación se presenta información sobre el diseño de un sistema de tratamiento de agua potable, la fuente principal de donde se abastece la parroquia de Columbe son vertientes que se encuentran localizadas aproximadamente a 15 kilómetros, cuenta con un sistema de tuberías de PVC para transportar el líquido vital, que es conducido por gravedad.

La finalidad de este proyecto es obtener agua de calidad que cumpla con los parámetros establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 Agua Potable, el tratamiento que se ha escogido es el más adecuado, ya que se ha utilizado metodologías simples fáciles de aplicar, también se ha tomado en cuenta que su mantenimiento y su construcción no representen altos gastos al momento de ponerlo en marcha.

Con las pruebas realizadas se tratará de mejorar la calidad del agua, garantizando su distribución a la cabecera parroquial de Columbe Cantón Colta cumpliendo con los requisitos de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 Agua Potable.

## ANTECEDENTES

La Parroquia Columbe en sus inicios se la conocía con el nombre de Culum, fue fundada en el año de 1578, los primeros habitantes fueron pequeñas familias descendientes de la etnia Puruhá. El 29 de mayo de 1861 fue fundada como Parroquia Columbe su nombre proviene del latín que traducido al español significa “palomas” de ahí el nombre “Pueblo de las Palomas”

Se encuentra localizado a 22 Km de la cabecera cantonal de Colta y a 38 Km de la ciudad de Riobamba, pertenece a la Provincia de Chimborazo. Limita al norte con la parroquia Villa Unión (Cajabamba) y Santiago de Quito al sur el cantón Pallatanga al este la parroquia Juan de Velazco y al oeste el cantón. Se encuentra a una altitud de 3,077 metros sobre el nivel del mar, sus coordenadas son 1°52'60" N y 78°42'0" E.

En abril de 1824 se emite un decreto que permite la venta de y parcelación de las propiedades del estado, en 1828 se dispone que en aquellos sectores en donde existieran tierras comunales se asigne a cada familia indígena una parcela que puede producir y asegurar la subsistencia. Los habitantes de esta parroquia tratan de superarse día a día es por eso que se han creado microempresas tales como; queserías, centros artesanales y criaderos.

Es importante destacar que aún siguen manteniendo sus tradiciones, la fuente principal de ingresos está dada por la agricultura ganadería y crianza de especies menores. La cabecera principal de la parroquia de Columbe, cuenta con una Junta de Agua Potable y se establece que existen 700 usuarios, los mismos que no disponen de Agua Potable, ya que consumen el agua que proviene directamente de la fuente.

Los habitantes de esta población han venido consumiendo desde hace más de 60 años el agua de vertiente de nombre Secao la población fue creciendo y el caudal no abasteció de este líquido vital, es así que se inició un proyecto para extraer más agua de otras vertientes aledañas. El servicio es regular siendo el mayor problema la calidad del agua esto es debido a la falta de sistemas adecuados de tratamiento y conducción.

## **JUSTIFICACIÓN**

Una de las necesidades más importantes que tiene la Parroquia de Columbe del Cantón Colta es mejorar la calidad del agua potable, estableciendo un tratamiento que sea adecuado para minimizar la presencia de cuerpos extraños y evitar enfermedades a la población, que se puedan transmitir por medio de este suministro.

El agua es una sustancia que posee propiedades que le hacen única, es por eso que el Ilustre Municipio de Colta considera importante su abastecimiento a toda la población, por tal motivo se está tratando de mejorar su calidad mediante el tratamiento continuo para que cumpla con todos los parámetros establecidos por la Norma INEN 1108;2011 para Agua Potable.

En la vertiente cuentan con una fase de captación por tal motivo es necesario complementar y mejorar con procesos necesarios para asegurar que el agua tratada se encuentre dentro de los parámetros pre establecidos para consumo humano.

Por todo lo anteriormente expuesto y tomando en cuenta que el GAD Municipal del Cantón Colta a través del departamento de Agua Potable tiene la responsabilidad de construir una ciudad del buen vivir, a través de la disposición de una red de servicios e infraestructura de calidad, es ineludible realizar el diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable, basándose en normas estandarizadas.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Diseñar la Planta Potabilizadora de Agua en la Parroquia de Columbe del Cantón Colta.

### **ESPECÍFICOS**

- Caracterizar el estado actual del agua mediante un proceso físico-químico y microbiológico.
- Plantear alternativas de viabilidad técnica, en relación a fases del proceso para el tratamiento del agua en base a la caracterización realizada.
- Establecer el presupuesto para implantación de reporte técnico.
- Monitorear los parámetros de la calidad del agua después del diseño.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

# 1 MARCO TEÓRICO

## 1.1 AGUA POTABLE

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

### 1.1.1 Importancia del Agua Potable

El agua potable es uno de los recursos naturales fundamentales y es uno de los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo, junto con el aire, la tierra y la energía. Es indispensable para la vida. Es el líquido más importante que existe en la naturaleza sin el ningún organismo viviente podría subsistir. Se conoce que el planeta tierra tiene alrededor de 70% de agua salada y no es apta para el consumo humano ni para los animales. El agua que es apta para su consumo se la conoce como agua dulce pero es bastante escasa, apenas el 30% del agua de la tierra es potable, y la mayor parte se encuentra en forma de hielo en los polos terrestres. A partir de estos datos, es fácil darse cuenta de la importancia que tiene el agua potable en la vida y en el organismo de los seres vivos de este planeta.

La calidad de vida de las personas va depender de la suficiente disponibilidad de los recursos que tengan hacia los bienes necesarios para asegurar su supervivencia. El agua potable, es un recurso de mucha importancia para impedir y disminuir la proliferación de enfermedades relacionadas con la falta de saneamiento y la salud.

La importancia que se le ha dado a la calidad del agua ha permitido evidenciar diferentes factores que causan la contaminación del agua entre ellos tenemos; agentes patógenos, desechos que requieren oxígeno, sustancias químicas orgánicas e inorgánicas, nutrientes vegetales que ocasionan crecimiento excesivo de plantas acuáticas, sedimentos o material suspendido, sustancias radioactivas y el calor.

---

<sup>1</sup> Agua Potable. Consultado el 18 de enero del 2014, de: [/http://ing.unne.edu.ar/dep/eol/fundamento/tema/T9.pdf](http://ing.unne.edu.ar/dep/eol/fundamento/tema/T9.pdf).

Se conoce que más de mil millones de personas no disponen o no tienen acceso al agua potable y que más de 25 mil personas en todo el mundo fallecen por no disponer de agua potable para su consumo. Es importante conservar limpia y adecuada el agua potable, cada vez se dan más casos de contaminación. Se hace por tanto urgente el cuidado del agua potable.

### **1.1.2 Calidad del Agua**

La calidad del agua depende de muchos factores como son la hidrología, la fisicoquímica y la biología del agua. El agua pura como tal no existe en la naturaleza. El agua lluvia puede recoger impurezas mientras pasa a través del aire. Los ríos y las quebradas recogen impurezas que provienen del suelo de las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, transportándolas a los lagos, embalses y mares. Existe menor riesgo de polución en las aguas superiores de un río, donde la población es escasa, pero en ningún caso puede considerarse un agua superficial carente de contaminación a pesar de que la purificación natural ocurre en todo cuerpo de agua gracias a la sedimentación y muerte de las bacterias patógenas.

Las impurezas que puede contener el agua pueden encontrarse en solución o en suspensión. Toda materia suspendida debe removerse, al igual que cualquier sustancia disuelta que se encontrara en exceso o que haga el agua inadecuada para uso doméstico o industrial. El tipo de polución que puede ocurrir en el agua y las medidas que deben tomarse para prevenirla o removerla varía con la fuente de donde provenga el agua.

El criterio de calidad del agua va depender directamente de la utilización que se le vaya a dar a dicha agua. Muchas de las características fisicoquímicas y bacteriológicas requeridas para determinado uso son características adoptadas para propósitos generales. Así, por ejemplo, es condición generalmente aceptada que un suministro de agua, para uso doméstico, debe ser claro, libre de minerales que produzcan alteración en el organismo del ser humano y que puedan afectar la salud.

Aguas puras no existe en la naturaleza; por consiguiente, se utiliza el término de agua segura y de agua potable. El agua segura es aquella cuyo consumo no implican ningún riesgo para la salud del consumidor, mientras que el agua potable es aquella que además de



ser segura es satisfactoria desde el punto de vista físico, químico, biológico, es decir es apta para el consumo humano. Debe tomarse en cuenta que el concepto de agua segura tiene un valor relativo y no absoluto, es decir que de acuerdo con la técnica y métodos disponibles se puede afirmar que una agua es segura cuando no existe evidencia de riesgo para la salud del consumidor

La pureza del agua se puede comprobar por las capas de sedimentos que esta atraviese, dejando en cada capa las impurezas que pudiera tener el agua. La cantidad y la temperatura son parámetros que también se debe tomar en cuenta al momento de analizar las causas que pudiera estar originando la contaminación del agua, lógicamente, para una cantidad de contaminantes dada, cuanto mayor sea la cantidad de agua receptora mayor será la dilución de los mismos, y la pérdida de calidad será menor. La temperatura tiene mucha relevancia, ya que los procesos de putrefacción y algunas reacciones químicas de degradación de residuos potencialmente tóxicos se pueden ver acelerados por el aumento de la temperatura. El uso benéfico más importante del agua es el del consumo humano, aunque existen otros usos con requerimientos de calidad que pueden tener mayor exigencia de tratamiento, este debe recibir el grado máximo de protección sanitaria.

Cada país regula la calidad del agua de consumo humano estableciendo y exigiendo el cumplimiento de normas de calidad de agua potable. Además, a través de las entidades de manejo del recurso, se debe establecer los mecanismos necesarios para proteger la fuente de agua de cualquier contaminación o atentado.<sup>2</sup>

## **1.2 FUENTES DE AGUA**

El agua circula continuamente a través del interminable ciclo hidrológico de precipitación, escurrimiento, infiltración, retención, evaporación, reprecipitación y así sucesivamente. Se entiende por fuente de agua aquel punto o fase del ciclo natural del cual se desvía o aparta el agua, temporalmente para ser usada regresando finalmente a la naturaleza, esta agua puede o no volver a su fuente original esto depende de la forma en que se disponga de las aguas de desperdicio.

---

<sup>2</sup> ROMEO, J (2009). Calidad del Agua. Bogotá - Colombia. Editorial Escuela Colombia de Ingeniería. Pp: 338-372

### **1.2.1 Aguas Superficiales**

Son aquellas que proceden de las precipitaciones que desciende de las nubes o de los depósitos que estas forman. Una desventaja de utilizar aguas superficiales es que pueden tener contaminantes en su composición y estos pueden llegar a ríos, lagos de diferentes maneras. El uso de agua procedente de la lluvia es una fuente limitada aunque importante de agua para aquellas áreas donde no disponen de fuentes fijas de agua dulce.

### **1.2.2 Aguas Subterráneas**

Se caracterizan por formar grandes depósitos de aguas debido a la infiltración de las lluvias y por aportes de aguas superficiales, por lo general viajan en forma vertical por la fuerza de gravedad, su existencia y comportamiento depende de factores como el clima, relieve, la red de avenamiento, la naturaleza de los suelos. Este recurso que es muy importante no se encuentra en todo el planeta, y en los lugares donde se lo extrae no se observa principios de desarrollo sustentable.<sup>3</sup>

## **1.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA**

El objetivo de caracterizar el agua es conocer sus atributos físicos, químicos y biológicos con el propósito de definir su aptitud para uso humano, agrícola, industrial. La presentación adecuada de los parámetros de caracterización facilita la definición de la calidad del agua para un uso determinado y permite visualizar no solo los aspectos relacionados con su composición química y microbiológica sino también los requerimientos económicos, legales y de tratamiento para su aprovechamiento. Al momento de la presentación de los análisis de aguas se debe tener como objetivo la sencillez de su interpretación, tanto numérica y si es el caso gráfica, así como su corrección desde el punto de vista analítico.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Aguas Subterráneas. Consultado el 18 de enero del 2014, de: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IDEntrega=1832>

<sup>4</sup>Caracterización del Agua. Consultado el 18 de enero del 2014, de: [http://www.fro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_03\\_Caracteristicas\\_del\\_Agua\\_Potable.pdf](http://www.fro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf)

## 1.3.1 Análisis Físico del Agua

### 1.3.1.1 Turbidez

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

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

El método nefelométrico<sup>5</sup> es el método instrumental preferido para medir la turbiedad por ser más sensible que el método visual, mide la turbiedad mediante un nefelométrico y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométrica (UTM). Cuanto mayor sea la intensidad de luz dispersada, mayor será la turbiedad.

Los valores de turbidez sirve para establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.

---

<sup>5</sup>Nefelométrico: Unidad que se utiliza para medir la turbidez de un flujo, expresada habitualmente en NTU (Nefelometric Turbidity Unit).

### **1.3.1.2 Color**

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

En general, el término color se refiere al color verdadero del agua y se acostumbra medir junto con el pH, pues la intensidad del color aumenta con el incremento del pH.

La unidad de color es el color producido por un mg/L de platino, en la forma de ion cloroplatinato. La determinación del color se hace por comparación visual de la muestra con soluciones de concentración de color conocida o con discos de vidrio de colores adecuadamente calibrados.

### **1.3.1.3 Olor y Sabor**

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

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

olor o sabor es apenas detectable. El valor de dicha relación se expresa como número detectable (ND) de olor o de sabor.

#### **1.3.1.4 Temperatura**

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que por ejemplo, el grado de saturación de OD, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la temperatura. Para obtener buenos resultados, la temperatura debe tomarse en el sitio de muestreo. Normalmente, la determinación de la temperatura puede hacerse con un termómetro de mercurio de buena calidad. El termómetro debe sumergirse en el agua, preferiblemente con el agua en movimiento, y efectuar la lectura después de un lapso suficiente que permita la estabilización del nivel de mercurio.

#### **1.3.1.5 Sólidos**

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

##### **1.3.1.5.1 Sólidos Totales**

Se define como sólidos la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103°C. El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto. Para su determinación, la muestra se evapora en una caja Petri pesada con anterioridad, sobre un baño de María, y luego se seca a 103 – 105°C. El incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos totales o residuo total.

#### **1.3.1.5.2 Sólidos Disueltos**

Son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Si la determinación es directa y el residuo de la evaporación se seca a 103 – 105°C, el incremento de peso sobre el de la caja Petri vacía representa los sólidos disueltos o residuo filtrante.

#### **1.3.1.5.3 Sólidos Suspendidos**

Son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch previamente pesado. El crisol con su contenido se seca de 103 – 105°C; el incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos suspendidos o residuos no filtrable.

#### **1.3.1.5.4 Sólidos Sedimentables**

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

Los procedimientos usados en la determinación del contenido de sólidos son métodos gravimétricos y como tales requieren la determinación del peso de crisoles o de cazuelas con residuos o sin ellos.

La determinación de sólidos sedimentables es básica para establecer la necesidad del diseño de tanques de sedimentación como unidades de tratamiento y para controlar su eficiencia.

#### **1.3.1.6 Conductividad**

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de las sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por tanto,

cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos en su valencia, implica un cambio en la conductividad. Por esta razón, el valor de la conductividad se usa mucho en análisis de aguas para obtener un estimativo rápido del contenido de sólidos disueltos

La forma más usual de medir la conductividad en aguas es mediante instrumentos comerciales de lectura directa en  $\mu\text{mho/cm}$  a  $25^\circ\text{C}$ , con un error menor del 1%.

En otras palabras, es la conductancia de un conductor de 1cm de longitud y una sección transversal de  $1\text{cm}^2$ ; por tanto, numéricamente es igual a la conductividad.

## **1.3.2 Análisis Químico del Agua**

### **1.3.2.1 Alcalinidad**

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

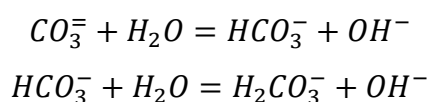
En la coagulación química del agua, las sustancias usadas como coagulantes reaccionan para formar precipitados hidróxidos insolubles. Los iones  $\text{H}^+$  originados reaccionan con la alcalinidad del agua y, por tanto, la alcalinidad actúa como buffer del agua en un intervalo de pH en que el coagulante puede ser efectivo. Por consiguiente, para que ocurra una coagulación completa y efectiva es necesario un exceso de alcalinidad.

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

- Bicarbonatos
- Carbonatos
- Hidróxidos

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

Las reacciones de hidrolización son las siguientes:



### 1.3.2.2 Dureza

Como aguas duras se consideran aquellas que requieren grandes cantidades de jabón para generar espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente, calentadores, calderas y otras unidades en las cuales se incrementan la temperatura del agua. En términos de dureza, las aguas pueden clasificarse así:

**Tabla 1.1 Clasificación del Agua Según su Dureza**

Rango	Tipo de Agua
0 – 75 mg/L	Blanda
75 – 150 mg/L	Moderadamente dura
150 – 300 mg/L	Dura
>300	Muy dura

Fuente: ROMERO, J., 2009.

En la práctica, se considera que la dureza es causada por iones metálicos divalentes, capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones. La dureza se expresa en mg/L.



Los principales cationes que causan la dureza y los principales aniones asociados con ellos son los siguientes:

**Tabla 1.2 Principales Cationes que Causan la Dureza del Agua**

<b>Cationes</b>	<b>Aniones</b>
$\text{Ca}^+$	$\text{HCO}_3^-$
$\text{Mg}^{++}$	$\text{SO}_4^-$
$\text{Sr}^{++}$	$\text{Cl}^-$
$\text{Fe}^{++}$	$\text{NO}_3^-$
$\text{Mn}^{++}$	$\text{SiO}_3^-$

Fuente: ROMERO, J., 2009.

En la mayor parte de las aguas se considera que la dureza total es aproximadamente igual a la dureza producida por los iones calcio y magnesio, es decir:

$$\text{Dureza total} = \text{dureza por Ca} + \text{dureza por Mg}$$

### 1.3.2.3 Nitrógeno

Los compuestos de nitrógeno son de gran interés para los ingenieros ambientales debido a su importancia en los procesos vitales de todas las plantas y animales. La química del nitrógeno es completamente a causa de los diversos estados de valencia que puede asumir este elemento y al hecho de que los cambios en la valencia los pueden hacer organismos vivos para añadir aún más interés, los cambios de valencia efectuados por las bacterias pueden ser positivos o negativos, según si las condiciones son aeróbicas o anaeróbicas

Las formas de mayor interés, en nuestro caso son:

- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno de nitritos
- Nitrógeno de nitratos
- Nitrógeno orgánico

### 1.3.2.4 Sulfatos

El ion sulfato, uno de los aniones más comunes en las aguas naturales, se encuentran en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles mg/L. Como los sulfatos de sodio y de magnesio tienen un efecto purgante, especialmente entre los niños, se recomienda un límite superior en aguas potables de 250 mg/L de sulfatos. El contenido también es importante, porque las aguas con alto contenido de sulfatos tienden a formar incrustaciones en las calderas y en los intercambiadores de calor.

Un agua que contenga alta cantidad de sulfatos presenta un olor desagradable, a huevo podrido causa malestar, descontento a la población.

### 1.3.2.5 Cloruros

El ion cloruro es una de las especies de cloro importancia en las aguas. Las principales formas del cloro en aguas y su correspondiente número de oxidación son:

**Tabla 1.3 Principales Formas del Cloro en el Agua**

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

Fuente: ROMERO, J., 2009.

Los cloruros aparecen en todas las aguas naturales en concentraciones que varían ampliamente. En las aguas de mar el nivel de cloruros es muy alto, en promedio de 19,00mg/L; constituyen el anión predominante. En aguas superficiales, sin embargo, su contenido es generalmente menos que el de los bicarbonatos y sulfatos.

Los cloruros tienen acceso a las aguas naturales en muchas formas: el poder disolvente del agua introduce cloruros de la capa vegetal y de las formaciones más profundas.

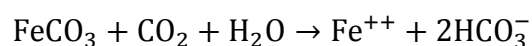
#### **1.3.2.6 Fluoruros**

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

#### **1.3.2.7 Hierro y Manganeso**

Tanto el hierro como el manganeso crean problemas en suministros de aguas. En general, estos problemas son más comunes en aguas subterráneas y en aguas del hipolimnio anaeróbico de lagos estratificados; en algunos casos, también en aguas superficiales provenientes de algunos ríos y embalses.

El hierro existe en suelos y minerales, principalmente como óxido férrico insoluble y sulfuro de hierro, FeS<sub>2</sub>, pirita. En algunas áreas se presentan también como carbonato ferroso, siderita, la cual es muy poco soluble. Como las aguas subterráneas contienen cantidades apreciables de CO<sub>2</sub>, producidas por la oxidación bacteriana de la materia orgánica con la cual el agua entra en contacto, se puede disolver cantidades apreciables de carbonato ferroso mediante la siguiente reacción.



De la misma manera que se disuelven carbonatos de calcio y magnesio. Sin embargo, los problemas con el hierro predominan cuando éste está presente en el suelo como compuestos férricos insolubles. Si existe oxígeno disuelto en el agua la solución del hierro de tales suelos con el agua no ocurren, aun en presencia de suficiente CO<sub>2</sub> pero en condiciones anaeróbicas del hierro férrico es reducido a hierro ferroso y la solución ocurre sin ninguna dificultad.

### **1.3.3 Análisis Microbiológico del Agua**

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

- Fuente de carbono
- Fuente de energía
- Fuente de nitrógeno
- Agua
- Fuente mineral

El examen bacteriológico del agua usualmente involucra dos ensayos: la estimación del número de bacterias de acuerdo con el conteo total en placa y la determinación, más significativa, de la presencia o ausencia de miembros del grupo coliforme.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> ROMERO, J. (2009). Calidad del Agua. Bogotá - Colombia. Editorial Escuela Colombia de Ingeniería. Pp: 105-215

## 1.4 EFECTOS SOBRE LA SALUD DE ALGUNOS CONTAMINANTES

Tabla 1.4 Efectos sobre la Salud de algunos Contaminantes

Contaminante	Posibles Efectos Sobre la Salud
Cloruros	Sabor salobre al agua Incrustaciones en las tuberías
Hierro	Manchas en la ropa Alteraciones del sabor y olor del agua
Dureza	Retarda acción de jabones y detergentes Causa incrustaciones en calderas
Nitritos	Metahemoglobinemia en niños Formación de nitrosaminas
Sulfatos	Efectos laxantes cuando están en exceso
Nitratos	Metahemoglobinemia en niños Diarrea
Fosfatos	Contribuye al crecimiento de algas Conservante de alimentos
Magnesio	Efecto purgante Sabor desagradable
Fluoruros	Moteamiento de los dientes Fluorosis
Calcio	Causa principal de la dureza

Fuente:<http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/2/CDAM0000012-2.pdf>

## 1.5 PROCESO PREVIO A LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Las aguas crudas que manan de las fuentes naturales pueden no ser completamente satisfactorias para uso doméstico. Las aguas superficiales pueden contener organismos patógenos, materia suspendida o sustancia orgánica. A excepción de las zonas calcáreas, las aguas del subsuelo ofrecen menos probabilidades de contener organismos patógenos que las aguas superficiales, pero pueden contener olores y sabores desagradables e inconvenientes, o impurezas minerales que limitan su utilización o grado de aceptabilidad. Algunas de estas características pueden tolerarse temporalmente, pero lo aconsejable es

elevar la calidad de las aguas al nivel más alto posible, por medio de procesos de potabilización adecuados. En aquellos casos donde pueda obtenerse de una fuente aguas que reúnan condiciones de pureza aproximadamente a lo ideal, es aun recomendable proporcionar el equipo necesario de potabilización para asegurarse de que se dispone de agua potable todo el tiempo.

La calidad de las aguas naturales cambia continuamente. Los procesos naturales que afectan la calidad de agua son disoluciones, sedimentación filtración aeración, insolación y descomposición bioquímica. Los procesos naturales pueden tender a contaminar las aguas o a purificarlas; sin embargo, los procesos naturales de purificación no son consistentes ni dignos de confianza.

Los procesos de potabilización de aguas incorporan, suplementan o modifican ciertos procesos naturales. Esto proporciona una seguridad adecuada en el sentido de que el agua se encuentra libre de organismos patógenos o de otros materiales o sustancias químicas inconvenientes.

La potabilización del agua puede acondicionar o reducir, hasta niveles aceptables cualquier sustancia química o impurezas que puedan hallarse en el agua.<sup>7</sup>

## **1.6 PROCESOS DE POTABILIZACION DEL AGUA**

### **1.6.1 Captación**

En este proceso se extrae el agua desde fuentes naturales, que generalmente pueden ser fuentes superficiales o subterráneas acuíferos. Este sistema está formado esencialmente por: la fuente de agua, la obra de captación, obras de conducción, almacenamiento, tratamiento y distribución. Las fuentes de abastecimiento por lo general deben ser permanentes, su caudal debe ser lo suficientemente adecuado para abastecer la población, caso contrario se deberá buscar otras fuentes de abastecimiento para suplir la demanda.

### **1.6.2 Captación de Aguas Subterráneas**

---

<sup>7</sup>CENTRO REGIONAL DE AYUDA TECNICA A.I.D., Manual sobre pequeños sistemas de abastecimiento de agua., México D.F ., Editorial Cvtvra., T.G.S.A., Pp 69

El acuífero es una formación geológica que permite almacenar y transportar agua y adicionalmente permite al hombre aprovechar en el agua para cubrir sus necesidades.

Una de las clasificaciones más importantes para los acuíferos es la que lo agrupa de acuerdo a la presión hidrostática del agua contenida en los mismos.

Acuíferos libres, no confinados o freáticos: aquellos acuíferos en los cuales existen una superficie libre del agua encerrada en ellos, que está en contacto directo con el aire y por lo tanto a presión atmosférica más la presión hidrostática a medida que se profundiza en él. Debido a que la densidad del agua es de  $1\text{g/cm}^3$  la presión de los fluidos aumentara  $1\text{Kg/cm}^2$  por cada 10 metros de profundidad. Se le llama nivel freático al nivel en que se encuentran la superficie del agua.

### **1.6.3 Aducción**

Se denomina aducción al proceso de conducir el agua desde su captación a la planta de tratamiento, Un sistema de aducción se caracteriza por contener un conjunto de elementos que pueden ser tuberías, canales, túneles y otros dispositivos que permitan el transporte de agua desde el punto de captación hasta la planta de tratamiento.

#### **1.6.3.1 Conducción por Gravedad (Acueductos, Canales)**

El agua circula por la propia pendiente de la conducción desde el punto de toma, que tendrá más altura, hasta el punto de entrada.

#### **1.6.3.2 Conducción Forzada (Tuberías)**

Se utiliza cuando el punto de toma esta situados a una altura más baja que la de entrada, se emplea grupos de bombeo. Para soportar la presión de trabajo se dimensionan con materiales resistentes bien de chapas de acero o de hormigón reforzado con camisas de chapas.

## **1.7 CAUDAL DE DISEÑO**

### 1.7.1 Población de Diseño

En las obras que se refieren a tratamiento de aguas, se recomienda no diseñar para satisfacer a la población actual, sino que debe existir una proyección de la población, con el fin de obtener la demanda de agua al terminar el periodo de diseño.

$$N_t = N_0(1 + r)^t$$

**Ecuación 1.1**

Donde:

$N_0$  = Población al inicio del periodo

$N_t$  = Población futura, resultado de la proyección

$r$  = Tasa media anual de crecimiento

$t$  = Número de años que se va proyectar la población

### 1.7.2 Dotación Básica

La dotación básica es la cantidad de agua consumida, o que se le asigna a cada habitante para su consumo y está en función del número de habitantes.

$$D_B = \frac{V_{ac}}{T_{us}}$$

**Ecuación 1.2**

Donde:

$D_B$  = Dotación básica, L/habitante x día

$V_{ac}$  = Volumen de agua consumida, L/día

$T_{us}$  = Total de usuarios servidos(habitante)

### 1.7.3 Dotación Futura



Es la cantidad de agua que necesitan los habitantes de una población después de haber realizado la proyección, y se expresa en litros por habitante y por día.

$$D_F = F_M * D_B$$

**Ecuación 1.3**

Donde:

$D_F$  = Dotación Futura, L/habitante x día

$F_M$  = Factor de mayorización (1,18 según la E.P.EMAPA-G)

$D_B$  = Dotación básica, L/habitante x día

#### **1.7.4 Gasto Medio Diario**

El gasto medio diario se define como la cantidad de agua que se necesita para satisfacer las necesidades de una población en un día de consumo promedio.

$$Q_{med} = \frac{P * D_F}{86400}$$

**Ecuación 1.4**

Donde:

$Q_{med}$  = Gasto medio diario, L/s

P = Número de habitantes (habitantes proyectados)

$D_F$  = Dotación, L/habitante x día

#### **1.7.5 Gasto Máximo Diario**

Este gasto nos permite determinar el consumo máximo diario, es decir el consumo que se genera en un día se expresa en litros por segundo.

$$Q_{Md} = K_1 * Q_{med}$$

**Ecuación 1.5**

Donde:

$Q_{Md}$  = Gasto máximo diario, L/s

$K_1$  = Coeficiente de variación diaria (1.3 según la E.P.EMAPA-G)

$Q_{med}$  = Gasto medio diario, L/s

### 1.7.6 Gasto Mínimo Horario

El gasto máximo horario se utiliza para determinar cuál es el consumo máximo durante el periodo de una hora.

$$Q_{Mh} = K_2 * Q_{Md}$$

**Ecuación 1.6**

Donde:

$Q_{Mh}$  = Gasto máximo horario, L/s

$K_2$  = Coeficiente de variación horaria (1,6 según la E.P.EMAPA-G)

$Q_{Md}$  = Gasto máximo diario, L/s

### 1.7.7 Caudal de la Planta de Tratamiento

El caudal de la planta de tratamiento es el caudal con el que se va diseñar la planta de tratamiento de aguas

$$Q_{tratamiento} = 1,10 * Q_{Mh}$$

**Ecuación 1.7**

Donde:

$Q_{Mh}$  = Gasto máximo horario, L/s

Factor de seguridad 1.10

## 1.8 DESARENADOR

Tiene por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa con el fin de evitar que se produzca depósitos en las obras de conducción, protegiendo los equipos posteriores ante la abrasión, atascos y sobrecargas.

La función que desempeña es muy importante y salvo circunstancias especiales como es el caso de disponer o captar aguas limpias se podría omitir su utilización; además cumple las siguientes funciones:

- Evitar el azolvamiento de la conducción y preservar los equipos hidromecánicos de la acción abrasiva de los sedimentos gruesos contenidos en el agua.
- Garantiza en condiciones normales la operación de lo siguiente:
  - La clarificación del agua mediante la retención y sedimentación de las partículas mayores a un determinado tamaño.
  - El abastecimiento permanente del agua a las condiciones, según las necesidades de los usuarios.
  - La evacuación sistemática de los sedimentos depositados en cámaras, con el mínimo consumo de agua.

### **1.8.1 Zonas que Componen un Desarenador**

#### **➤ Zona de Entrada**

Representa la conexión entre el canal que recoge el líquido y el desarenador propiamente dicho. Su función principal es conseguir una distribución uniforme del líquido, con el fin de obtener una velocidad constante que ayude a que genere la sedimentación de las partículas.

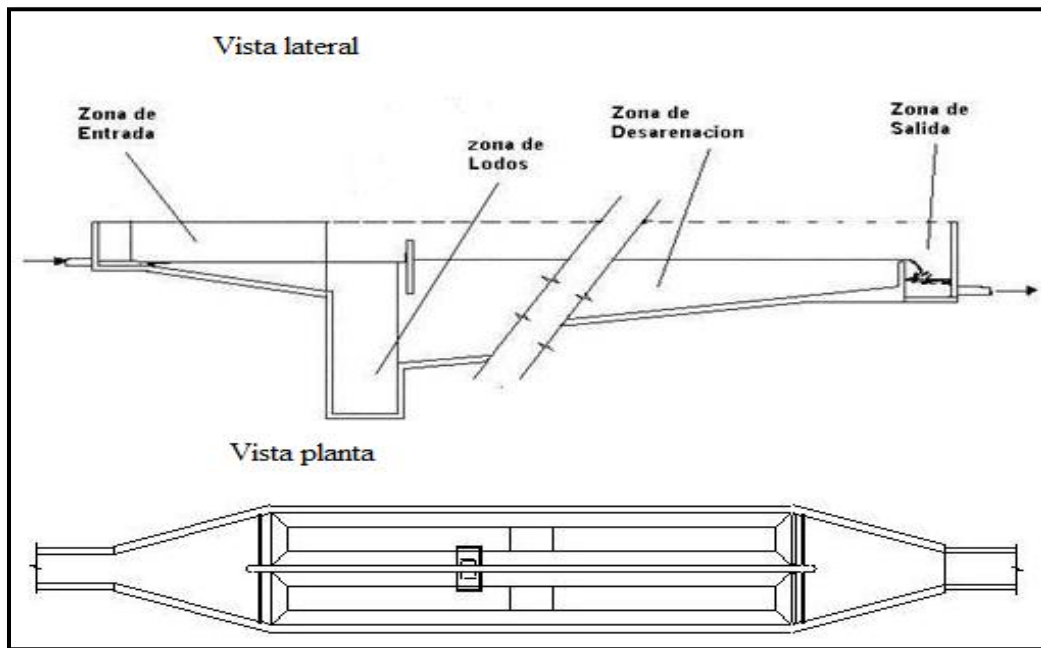
#### **➤ Zona de Sedimentación de las Partículas Gruesas**

En esta parte del proceso es donde se realiza el depósito o sedimentación de las partículas. Se recomienda que debe existir una pendiente de fondo que nos facilitara el proceso de limpieza.

### ➤ Zona de Salida

Está formado por un vertedero horizontal, que ocupa todo el ancho de la zona de desarenación, con el objetivo de mantener constante la velocidad evitando así la resuspensión del material sedimentado.<sup>8</sup>

Figura 1.1 Desarenador de Flujo Horizontal



Fuente: OPC/CEPIS/O5.158 UNATSABAR.

### 1.8.2 Número de Reynolds

El cálculo del número de Reynolds nos permite determinar si el fluido de estudio tiene un comportamiento turbulento, de transición o laminar, relacionando la densidad, viscosidad y velocidad, además este número es adimensional.

<sup>8</sup>Desarenador. Consultado el 28 de enero del 2014, de: <http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%206%20Tratamiento%20de%20agua/Tratamientos%20preliminares.pdf>

$$N_{RE} = \frac{V * d * \rho}{\mu}$$

**Ecuación 1.8**

Donde:

$N_{RE}$  = Numero de Reynolds, adimensional

V= Velocidad del fluido, m/s

d = Diámetro de la partícula, cm

$\mu$  = Viscosidad cinemática, cm<sup>2</sup>/s

$\rho$  = Densidad del agua, cm<sup>2</sup>/s

De acuerdo al número de Reynolds que se obtenga se puede determinar que ecuación utilizar con la ayuda de la siguiente tabla:

**Tabla 1.5 Relación entre el Diámetro de las Partículas y Velocidad de Sedimentación**

Material	Φ Limite de las partículas (cm)	Numero de Reynolds	Vs	Régimen	Ley
Grava	>1.0	>10000	100	Turbulento	$V_s = 1.82 \sqrt{dg \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)}$ Newton
Arena Gruesa	0.100 0.080 0.050 0.050 0.040 0.030 0.020 0.015	1000 600 180 27 17 10 4 2	10.0 8.3 6.4 5.3 4.2 3.2 2.1 1.5	Transición	$V_s = 0.22 \left( \frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)^{2/3} \left[ \frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}} \right]$ Allen

Arena Fina	0.010	0.8	0.8	Laminar	$V_s = \frac{1}{18} g \left( \frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) d^2$ Stokes
	0.008	0.5	0.6		
	0.006	0.24	0.4		
	0.005	1.0	0.3		
	0.004	1.0	0.2		
	0.003	1.0	0.13		
	0.002	1.0	0.06		
	0.001	1.0	0.015		

Fuente: OPC/CEPIS/O5.158 UNATSABAR.

### 1.8.3 Velocidad de Sedimentación

La velocidad de sedimentación, es la velocidad que adquiere la partícula, para descender hasta el fondo del desarenador, esta velocidad va depender del tamaño de la partícula se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$V_s = \frac{1}{18} * g \frac{(\rho_a - \rho)d^2}{\mu}$$

**Ecuación 1.9**

Donde:

$V_s$  = Velocidad de sedimentación, cm/s

$g$  = Aceleración de la gravedad, cm/s<sup>2</sup>

$\rho_a$  = Densidad de la arena, g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  = Densidad del agua, g/cm<sup>3</sup>

$d$  = Diámetro de la partícula, cm

$\mu$  = Viscosidad cinemática, cm<sup>2</sup>/s

### 1.8.4 Número de Reynolds

Se determine el número del Reynolds en función de las características de la partícula a sedimentar. Se puede calcular con la siguiente expresión:

$$N_{RE} = \frac{V_s * d}{\mu}$$

**Ecuación 1.10**

Donde:

$N_{RE}$  = Numero de Reynolds

$V_s$  = Velocidad de sedimentación, cm/s

$d$  = Diámetro de la partícula, cm

$\mu$  = Viscosidad cinemática,  $\text{cm}^2/\text{s}$

### 1.8.5 Coeficiente de Arrastre

El coeficiente de arrastre se calcula en función del nuevo número de Reynolds, a partir de la velocidad de sedimentación calculada; se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$C_D = \frac{24}{N_{RE}} + \frac{3}{\sqrt{N_{RE}}} + 0.34$$

**Ecuación 1.11**

Donde:

$C_D$  = Coeficiente de arrastre

$N_{RE}$  = Numero de Reynolds

### 1.8.6 Velocidad de Sedimentación en la Zona de Transición

La velocidad de sedimentación de la partícula en la zona de transición se puede calcular con la siguiente expresión:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} * (\rho_a - 1)d}$$

**Ecuación 1.12**

Donde:

$V_s$  = Velocidad de sedimentación,  $\text{cm/s}$

$C_D$  = Coeficiente de arrastre

$\rho_a$  = Densidad de la arena,  $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

### 1.8.7 Área Superficial

El área superficial es el espacio que disponen las partículas para sedimentar. Se calcula con la siguiente ecuación:

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

**Ecuación 1.13**

Donde:

$A_s$  = Área superficial,  $\text{m}^2$

$Q$  = Caudal de diseño,  $\text{m}^3/\text{s}$

$V_s$  = Velocidad de sedimentación,  $\text{m/s}$

### 1.8.8 Dimensiones del Desarenador

**Ancho:** Valor recomendado para el diseño 0,60m.

**Largo:**

$$L_d = 3b$$

**Ecuación 1.14**

Donde:

$L_d$  = Largo, m

$b$  = Ancho, m



### 1.8.9 Condiciones de Diseño

Para comprobar si el diseño que se propone esta realizado correctamente debe cumplir con la siguiente condición:

$$V_a > V_h$$

### 1.8.10 Velocidad del Horizonte

La velocidad de horizonte que disponen las partículas, se puede calcular con la siguiente expresión:

$$V_h = \frac{Q}{A_s}$$

**Ecuación 1.15**

Donde:

$V_h$  = Velocidad del horizonte, m/s

$Q$  = Caudal de diseño, m<sup>3</sup>/s

### 1.8.11 Velocidad de Arrastre

La velocidad de arrastre se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$V_{ar} = 125[(\rho_a - \rho)d]^{1/2}$$

**Ecuación 1.16**

Donde:

$\rho_a$  = Densidad de la arena, g/cm<sup>3</sup>

$\rho$  = Densidad del agua, g/cm<sup>3</sup>

$d$  = Diámetro de la partícula, cm

$V_{ar}$  = Velocidad de arrastre, cm/s

### 1.8.12 Altura del Desarenador

La altura del desarenador se puede calcular con la siguiente expresión:

$$H_D = \frac{Q}{A_d * V_h}$$

**Ecuación 1.17**

Donde:

$H_D$  = Altura del desarenador, m

$Q$  = Caudal de diseño,  $m^3/s$

$A_d$  = Ancho del desarenador, m

$V_h$  = Velocidad del horizonte,  $m/s$

### 1.8.13 Periodo de Retención

El periodo de retención se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$P_R = \frac{L_D * A_d * H_D}{Q}$$

**Ecuación 1.18**

Donde:

$L_D$  = Largo del desarenador, m

$A_d$  = Ancho del desarenador, m

$H_D$  = Altura del desarenador, m

## 1.8.14 Criterios de Diseño

Tabla 1.6 Propiedades de la Arena y Agua

Propiedades de la arena fina		
	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Diámetro (cm)
Arena Fina	2.65	0.02
Propiedades del agua		
	Viscosidad cinemática (cm <sup>2</sup> /s)	
Agua	0.0120	

Fuente: <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/6543/1/TESIS%20UTPL.pdf>

## 1.9 MEZCLA RAPIDA

Entre los mezcladores rápidos más utilizados se pueden encontrar los siguientes

- Canales con Cambio de Pendiente
- Canales de Parshall
- Vertederos Rectangulares

### 1.9.1 Vertederos Rectangulares

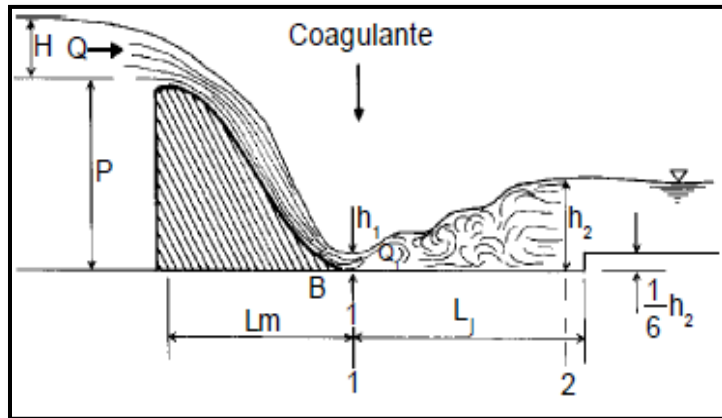
El vertedero rectangular se utiliza para caudales menores para 30L/s son utilizados especialmente para aguas que la mayor parte del tiempo están coagulando el objetivo del vertedero rectangular es la mezcla instantánea del coagulante con toda la cantidad de agua a tratar. Esta dispersión debe ser eficiente, para lograr desestabilizar las partículas que se encuentren en suspensión y tener un proceso óptimo de coagulación. Para conseguir un salto estable el número de Froude<sup>9</sup> se debe encontrar entre 4,5 y 9, el coagulante se debe aplicar en un punto de mayor turbulencia esto sucede al inicio del resalto y distribuirlo de una manera uniforme, de esta manera lograr una mezcla eficiente.

---

<sup>9</sup>Número de Froude: numero adimensional relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y la fuerza de gravedad que actúan sobre un fluido.

La mezcla rápida se genera mediante la turbulencia que genera el dispositivo hidráulico, este dispositivo está formado por un canal rectangular sin contracciones a todo lo ancho del canal, es el vertedero más utilizado por ser el más sencillo, y económico al momento de construir.<sup>10</sup>

**Figura 1.2 Vertedero Rectangular**



**Fuente:** <http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/111/3/CDAM0000014-3.pdf>

### 1.9.1.1 Caudal Especifico

El caudal específico se lo puede calcular con la siguiente ecuación:

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

**Ecuación 1.19**

Donde:

$q$  = Caudal específico,  $m^2/s$

<sup>10</sup> Mezcla Rápida. Consultado el 4 de marzo del 2014, de: <http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/111/3/CDAM0000014-3.pdf>

$Q =$  Caudal de diseño,  $\text{m}^3/\text{s}$

$B =$  Ancho, m

### 1.9.1.2 Carga Disponible

La carga disponible está en función del caudal específico y se calcula de la siguiente manera:

$$H = 0.67q^{2/3}$$

**Ecuación 1.20**

Donde:

$H =$  Carga disponible, m

$q =$  Caudal específico,  $\text{m}^2/\text{s}$

### 1.9.1.3 Altura Crítica

La altura crítica se puede calcular de la siguiente manera:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

**Ecuación 1.21**

Donde:

$h_c =$  Altura crítica, m

$q =$  Caudal específico,  $\text{m}^2/\text{s}$

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

### 1.9.1.4 Altura del Agua en la Sección 1

La altura del agua en la sección 1 está relacionada con la altura crítica, mediante la ecuación de White:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} * h_c}{\sqrt{\frac{A_c}{h_c} + 2.56}}$$

**Ecuación 1.22**

Donde:

$h_1$  = Altura de agua en la sección 1, m

$A_c$  = Altura de la cresta, m

$h_c$  = Altura crítica, m

### 1.9.1.5 Velocidad del Agua En La Sección 1

La velocidad que tiene el agua en el salto se calcula de la siguiente manera:

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

**Ecuación 1.23**

Donde:

$V_1$  = Velocidad en la sección 1, m/s

$h_1$  = Altura de agua en la sección 1, m

$q$  = Caudal específico, m<sup>2</sup>/s

### 1.9.1.6 Numero De Froude

El número de Froude es un cálculo que se realiza para determinar si el resalto es estable y si la mezcla que se genera es eficiente, se calcula con la siguiente expresión:

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}$$

**Ecuación 1.24**

Donde:

$V_1$  = Velocidad en la sección 1

$h_1$  = Altura de agua en la sección 1

$g$  = Gravedad,  $m/s^2$

$F_1$  = Numero de Froude, adimensional

### 1.9.1.7 Altura del Agua en la Sección 2

La altura del agua en la sección 2 es la altura que se genera después del resalto hidráulico se la puede calcular de la siguiente manera:

$$h_2 = \left(\frac{h_1}{2}\right) \left(\left[\sqrt{1 + 8F_1^2}\right] - 1\right)$$

**Ecuación 1.25**

Donde:

$h_2$  = Altura del agua en la sección 2, m

$F$  = Numero de Froude

$h_1$  = Altura de agua en la sección 1, m

### 1.9.1.8 Velocidad del Agua en la Sección 2

Es la velocidad del agua en el resalto hidráulico, se calcula con la siguiente expresión:

$$V_2 = \frac{q}{h_2}$$

**Ecuación 1.26**

Donde:

$q$  = Caudal específico,  $m^2/s$

$V_2$  = Velocidad en la sección 2, m/s

$h_2$  = Altura del agua en la sección 2, m

### 1.9.1.9 Longitud del Resalto

La longitud de resalto para resalto estable se puede obtener con la siguiente expresión:

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

**Ecuación 1.27**

Donde:

$L_j$  = Longitud del resalto, m

$h_2$  = Altura del agua en la sección 2, m

$h_1$  = Altura de agua en la sección 1, m

### 1.9.1.10 Distancia del Salto

También conocida como longitud del salto, es la distancia a la que se debe colocar el coagulante para obtener una dispersión homogénea, podemos calcular con la siguiente ecuación:

$$L_m = 4.3A_c \left( \frac{h_c}{A_c} \right)^{0.9}$$

**Ecuación 1.28**

Donde:

$L_m$  = Distancia del salto, m

$A_c$  = Altura de la cresta, m

$h_c$  = Altura crítica, m

### 1.9.1.11 Pérdida de Carga en el Resalto



La pérdida de carga en el resalto se debe al choque, en el resalto hidráulico se genera una turbulencia lo que provoca la pérdida de energía. Se puede calcular con la siguiente expresión:

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_2h_1}$$

**Ecuación 1.29**

Donde:

$h_p$  = Pérdida de carga en el resalto, m

$h_2$  = Altura del agua en la sección 2, m

$h_1$  = Altura de agua en la sección 1, m

#### **1.9.1.12 Velocidad Media en el Resalto**

Es la velocidad promedio que se genera en el resalto, podemos calcular con la siguiente expresión:

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

**Ecuación 1.30**

Donde:

$V_m$  = Velocidad media, m

$V_2$  = Velocidad en la sección 2, m/s

$V_1$  = Velocidad en la sección 1, m/s

#### **1.9.1.13 Tiempo de Mezcla**

Es el tiempo en que van a estar en contacto el agua a tratar y el coagulante, se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_m = \frac{L_j}{V_m}$$

**Ecuación 1.31**

Donde:

$T_m$  = Tiempo de mezcla, s

$L_j$  = Longitud del resalto, m

$V_m$  = Velocidad media, m

#### 1.9.1.14 Gradiente de Velocidad

El gradiente de velocidad se puede calcular con la siguiente expresión:

$$G = \sqrt{\gamma/\mu} \sqrt{\frac{h_p}{T_m}}$$

**Ecuación 1.32**

Donde:

$G$  = Gradiente de velocidad,  $s^{-1}$

$h_p$  = Perdida de carga en el resalto, m

$T_m$  = Tiempo de mezcla, s

#### 1.9.2 Criterios De Diseño

**Tabla 1.7**Valores Adoptados para el Diseño

Parámetros	Valores
Ancho (m)	0.50 m
Altura de la cresta ( $A_c$ ) (m)	0.67 m
Relación de $\sqrt{\gamma/\mu}$ a 15°C	2920.0

Fuente:<http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/111/3/CDAM0000014-3.pdf>

### 1.10 FLOCULACIÓN QUÍMICA DEL AGUA

El proceso de floculación<sup>11</sup> se usa para el tratamiento de aguas, promueve la aglomeración de partículas de menor tamaño a partículas de mayor tamaño llamado floculo esto se debe a un mecanismo de formación de puentes químicos o enlaces físicos, este proceso facilita la sedimentación de las partículas que se encuentran suspendidas.

Entre los floculantes que más se emplea tenemos los siguientes:

- **Policloruro de Aluminio:** Se usan en procesos de potabilización de agua como coagulante o floculante, nos ayudan a remover sólidos suspendidos, color, turbidez, entre otros. Está formado por una combinación de polímeros de hidroxidocloruro de aluminio.
- **Aplicación**
  - Rápida formación de los flóculos
  - Mejora la remoción de turbidez
  - Menor turbidez en la filtración
  - Tiempos cortos para reaccionar y sedimentar
- **Poliectrolitos:** Los polielectrolitos pueden ser de origen natural, según su carácter iónico pueden ser iónicos, aniónicos y catiónicos. Son moléculas de cadena larga que se obtienen a partir de la asociación de monómeros simples sintéticos.

## 1.11 FLOCULADOR

Un floculador tiene como finalidad aglomerar partículas de mayor tamaño para su sedimentación, un floculador bien diseñado puede proporcionar un proceso eficiente y muchos años de operación sin algún daño, entre los floculadores más conocidos tenemos:

- Floculadores Mecánicos
- Floculadores Hidráulicos

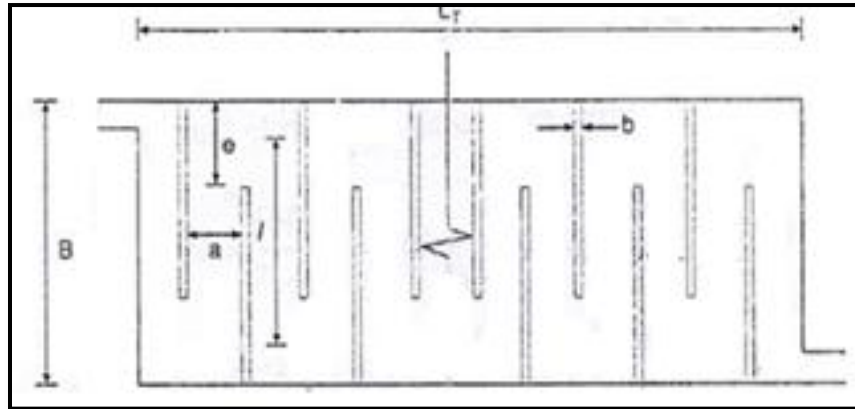
### 1.11.1 Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal

---

<sup>11</sup>Floculación: Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua.

El floculador hidráulico de flujo horizontal tiene como principal objetivo promover una agitación lenta para originar el crecimiento de los flóculos, la velocidad que se genera en el interior de este dispositivo debe ser decreciente para cumplir con su objetivo.

**Figura 1.3 Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal**



Fuente: VILLEGAS, M. Purificación de Aguas. Floculadores

### 1.11.2 Distancia Recorrida por el Agua

Es todo el tramo que necesita recorrer el agua tratada para obtener un correcto proceso de floculación, se lo puede calcular de la siguiente manera:

$$l = v * t$$

**Ecuación 1.33**

Donde:

l = Longitud recorrida por el agua, m

v = Velocidad de entrada del agua, m/s

t = Tiempo de retención, min (20min tiempo recomendado)

### 1.11.3 Volumen de Agua

Es la cantidad de agua que debemos tratar en el floculador, podemos calcular con la siguiente expresión:

$$V_a = Q * t$$

**Ecuación 1.34**

Donde:

$V_a$  = Volumen de agua,  $m^3$

$Q$  = Caudal de diseño,  $m^3/s$

$t$  = Tiempo de retención, min

#### **1.11.4 Sección Transversal de los Canales**

El área transversal que se necesita para un canal entre baffles es:

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

**Ecuación 1.35**

Donde:

$A$  = Área de la sección transversal de los canales,  $m^2$

$Q$  = Caudal de diseño,  $m^3/s$

$v$  = Velocidad de entrada del agua,  $m/s$

#### **1.11.5 Profundidad del Agua**

La profundidad del agua se puede calcular con la siguiente expresión:

$$P_a = \frac{A}{z}$$

**Ecuación 1.36**

Donde:

$A$  = Área de la sección transversal de los canales,  $m^2$

$P_a$  = Profundidad del agua, m

$z$  = Separación entre tabiques, m (se asume un valor de 0.15m)

### 1.11.6 Espacio Libre entre los Tabiques y la Pared del Tanque

La distancia de los tabiques a la pared del tanque se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$e = 1.5 * z$$

**Ecuación 1.37**

Donde:

$e$  = Espacio libre entre los tabiques y la pared, m

$z$  = Separación entre los tabiques, m

### 1.11.7 Longitud Efectiva de cada Canal

La longitud efectiva del canal se lo puede calcular con la siguiente expresión:

$$L_E = B_F - e$$

**Ecuación 1.38**

Donde:

$L_E$  = Longitud efectiva del canal, m

$B_F$  = Ancho del floculador, m (se asume un valor de 8m tomando en cuenta el espacio disponible)

$e$  = Espacio libre entre los tabiques y la pared, m

### 1.11.8 Número Requerido de Canales

El número de canales que se necesita para el diseño se lo puede calcular con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{l}{L_E}$$

**Ecuación 1.39**

Donde:

N = Número de canales, adimensional

$L_E$  = Longitud efectiva del canal, m

l = Longitud recorrida por el agua, m

### **1.11.9 Longitud Total de la Cámara de Floculación**

La longitud total del floculador se lo puede calcular con la siguiente ecuación:

$$L_T = N * a + (N - 1)E_t$$

**Ecuación 1.40**

Donde:

$L_T$  = Longitud total de la cámara de floculación, m

a = Separación entre los tabiques, m

N = Número de canales, adimensional

$E_t$  = Espesor del tabique, m (valor asumido 3cm)

### **1.11.10 Radio Hidráulico**

El radio hidráulico es la relación entre el área mojada y el perímetro mojado, este cálculo se realiza tomando en cuenta la forma, en este caso un rectángulo por lo tanto tenemos:

$$R = \frac{A}{2P_a + 0.15}$$

**Ecuación 1.41**

Donde:

R = Radio hidráulico, m

A = Área de la sección transversal de los canales, m<sup>2</sup>

a = Separación entre los tabiques, m

P<sub>a</sub> = Profundidad del agua, m

### 1.11.11 Pérdidas por Fricción en el Tanque

Es la pérdida que se produce al momento en el que el agua se pone en contacto directo con la pared del canal, y se lo puede calcular con la siguiente expresión:

$$h_f = \frac{(v * n)^2}{R^{4/3}} l$$

**Ecuación 1.42**

Donde:

n = Coeficiente de Manning, adimensional

v = Velocidad de entrada del agua, m/s

l = Longitud recorrida por el agua, m

R = Radio hidráulico, m

h<sub>f</sub> = Pérdidas por fricción en el tanque, m

### 1.11.12 Pérdidas Adicionales

Son pérdidas que se producen en las vueltas, en el momento en el que el agua tratada pasa de un canal a otro, se calcula con la siguiente formula:

$$h_a = K(N - 1) \frac{v^2}{2g}$$

**Ecuación 1.43**

Donde:

h<sub>a</sub> = Pérdidas adicionales, m



$K$  = Constante empírica (2 a 4, comúnmente 3)

$N$  = Número de canales, adimensional

$v$  = Velocidad de entrada del agua,  $m/s$

### 1.11.13 Pérdida Total de Energía

La pérdida total de energía es la suma de las pérdidas que se generan por fricción más las pérdidas adicionales, y se lo puede calcular con la siguiente expresión.

$$h_T = h_f + h_a$$

**Ecuación 1.44**

Donde:

$h_T$  = Pérdida total de energía, m

$h_f$  = Pérdidas por fricción en el tanque, m

$h_a$  = Pérdidas adicionales, m

### 1.11.14 Gradiente de Velocidad

La gradiente de velocidad se puede colocar con la siguiente fórmula:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h_T}{\mu T}}$$

**Ecuación 1.45**

Donde:

$G$  = Gradiente de velocidad,  $s^{-1}$

$\gamma$  = Peso específico del agua,  $N/m^3$  ( $9798 N/m^3$ )

$\mu$  = Viscosidad dinámica del agua, Pa.s ( $1.130 \cdot 10^{-3}$ )

### 1.11.15 Numero de Camp

El número de Camp es adimensional y se lo puede calcular con la siguiente expresión:

$$G_T = G * t$$

**Ecuación 1.46**

Donde:

$G_T$  = Número de Camp, adimensional

$G$  = Gradiente de velocidad,  $s^{-1}$

$t$  = Tiempo de retención, min

**1.11.16 Criterios de Diseño**

**Tabla 1.8 Parámetros de Diseño para Floculadores Hidráulicos**

<b>Criterio</b>	<b>G(s<sup>-1</sup>)</b>	<b>t (min)</b>	<b>G<sub>t</sub></b>	<b>v (m/s)</b>	<b>h<sub>T</sub></b>
<b>Smethurst</b>	20 - 100	10 - 60	2000 - 150000	0,15 - 0,50	0,15 - 0,60
<b>Arboleda</b>	10 - 100	15 - 20	-	0,10 - 0,60	-
<b>Insfopal</b>	-	15 - 60	-	0,15 - 0,45	-
<b>Hardenbergh y Rodie</b>	-	20 - 50	-	0,15 - 0,45	-
<b>Fair y Geyer</b>	-	10 - 90	-	0,10 - 0,90	0,30 - 0,90
<b>Awwa</b>	5 - 100	10 - 60	30000 - 150000	0,09 - 0,30	-
<b>Cepis</b>	10 - 100	10 - 60	-	0,10 - 0,60	-
<b>RAS 2000</b>	20 - 70	20 - 30	-	0,20 - 0,60	-

Fuente: VILLEGAS, M. Purificación Aguas. Floculadores

**Tabla 1.9 Valores Típicos de Coeficiente de Rugosidad**

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de Mannig (n)</b>
Concreto simple	0,013
Asbesto cemento	0,011
Latón	0,011
Tabique	0,015
Concreto (cimbra metálica)	0,011
Concreto (cimbra madera)	0,015
Plástico (PVC)	0,009

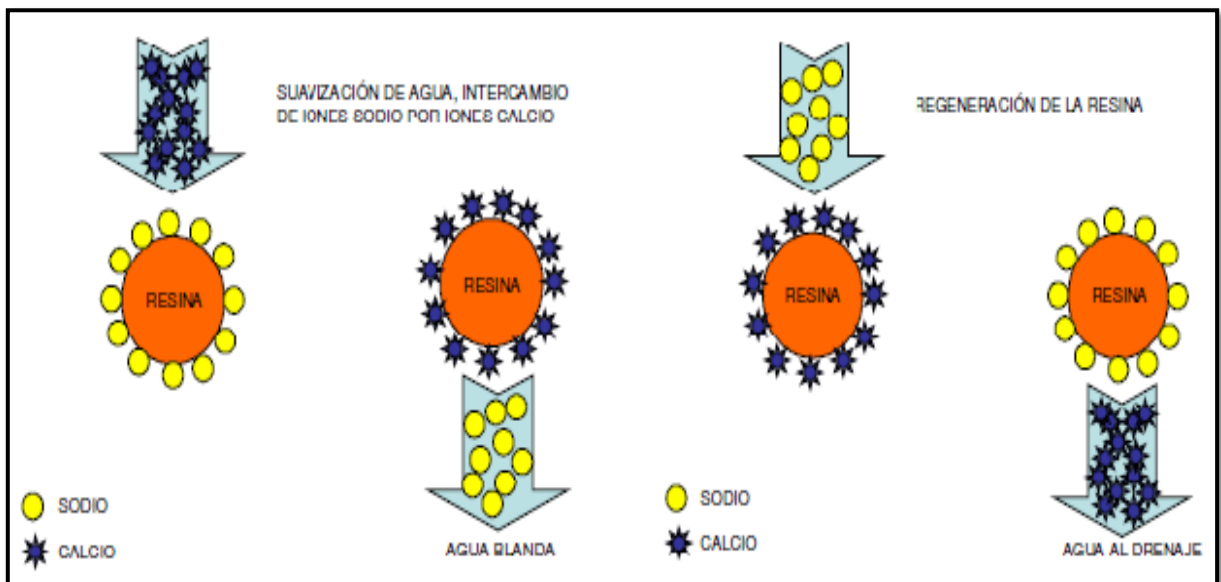
Fuente: <http://www.slideshare.net/cosmeacr/coeficientes-de-rugosidad-haestad>

## 1.12 INTERCAMBIO IÓNICO

El intercambio iónico consiste en eliminar sales disueltas que se encuentran presentes en el agua en forma de iones o partículas cargadas positivamente o negativamente. Este proceso se basa en la capacidad que posee la resina de intercambiar iones en la cual una molécula que ha perdido o ganado un electrón ya sea de carga positiva o negativa, se intercambia por otra partícula de igual signo pero de naturaleza diferente.

Un intercambiador iónico se caracteriza ya que se puede volver a utilizar puesto que el material del intercambiador puede ser regenerado, ya que el cambio que sufre dicho material no es permanente.

Figura 1.4 Intercambio de Iones

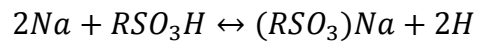
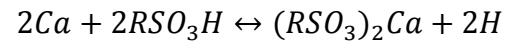


Fuente: <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/resinasintercambio7.pdf>

### 1.12.1 Intercambio Catiónico

Se conoce como intercambio catiónico al desplazamiento de un ion positivo, o catión por otro ion de la misma especie. Entre los cationes más comunes tenemos manganeso hierro, magnesio, y sodio.

- **Resinas catiónicos de ácido fuerte:** Este tipo de resinas derivan su funcionalidad de grupos ácidos sulfónicos. Las resinas catiónicas funcionan con cualquier tipo de pH, y son escogidas para aplicaciones de suavizado. Remueven casi todos los cationes provenientes del agua como indican las siguientes reacciones:



### 1.12.2 Tanque de Intercambio Catiónico

El tanque intercambiador de cationes consta de resina catiónica de ácido fuerte, actúa intercambiando cationes que producen la dureza, por el catión sodio. La resina se activa con cloruro de sodio.

#### 1.12.2.1 Dureza Total Expresada en Granos por Galón

Para calcular la dureza total en granos por galón se utiliza la siguiente ecuación:

$$D_{Gg} = \frac{Dp}{17.1}$$

**Ecuación 1.47**

Donde:

$D_{Gg}$  = Dureza, granos/galón

$Dp$  = Dureza promedio, mg/l

Conversión 17.1 ppm = 1 granos/galón

#### 1.12.2.2 Granos Necesarios en un Día

Los granos necesarios de resina por día se puede calcular con la siguiente expresión:

$$G_d = Q * D_{Gg}$$

### Ecuación 1.48

Donde:

$G_d = \text{Granos día, granos/día}$

$Q = \text{Caudal, galones/día}$

$D_{Gg} = \text{Dureza, granos/galón}$

#### 1.12.2.3 Volumen de Resina

El volumen de la resina se puede calcular con la siguiente expresión:

$$V_r = \frac{G_d}{3000}$$

### Ecuación 1.49

Donde:

$V_r = \text{Volumen de la resina, m}^3$

$G_d = \text{Granos día}$

$1\text{ft}^3 = 3000 \text{ granos de resina}$

#### 1.12.2.4 Volumen Tanque

El volumen del tanque se puede realizar con la siguiente ecuación:

$$V_T = V_r * E$$

### Ecuación 1.50

Donde

$V_T = \text{Volumen del tanque, m}^3$

$V_r = \text{Volumen de la resina, m}^3$

$E = \text{Expansión de la resina al regenerarla \%}$

### 1.12.2.5 Área Del Tanque

El área del tanque se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$A_T = \frac{V_r}{h_r}$$

**Ecuación 1.51**

Donde:

$A_T$  = Área del tanque,  $m^2$

$V_r$  = Volumen de la resina,  $m^3$

$h_r$  = Altura de la resina (4pies valor recomendado)

### 1.12.2.6 Diámetro del Tanque

El diámetro del tanque se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$D_t = \sqrt{\frac{4A_T}{\pi}}$$

**Ecuación 1.52**

Donde:

$D_t$  = Diámetro del tanque, m

$A_T$  = Área del tanque,  $m^2$

### 1.12.2.7 Altura del Tanque

La altura del tanque podemos calcular con la siguiente expresión:

$$H_t = \frac{V_T}{A_T}$$

**Ecuación 1.53**

Donde:

$H_t$  = Altura del tanque, m

$V_T =$  Volumen del tanque,  $m^3$

$A_T =$  Área del tanque,  $m^2$

### 1.13 DESINFECCIÓN

En una planta de tratamiento de agua, el proceso de desinfección es uno de los últimos pasos, pero uno de los más importantes, ya que se tiene como objetivo eliminar los microorganismos patógenos. La dosificación de cloro se calcular para un caudal de 15.48L/s

#### 1.13.1 Peso Necesario de Cloro

La dosificación de hipoclorito de sodio será de 1.5mg/l ya que es la concentración adecuada para este tipo de agua origen subterráneo.<sup>12</sup> Se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$P_{Cl} = \frac{Q * D * 86400}{1000}$$

**Ecuación 1.54**

Donde:

$P_{Cl}$  = Peso necesario de cloro,  $Kg/d$

$Q$  = Caudal de diseño,  $m^3/s$

$D$  = Dosis de cloro,  $mg/l$

#### 1.13.2 Volumen del Hipoclorador

El volumen del hipoclorador se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$V_H = \frac{P_{Cl}}{5C}$$

---

<sup>12</sup> Dosificación del Hipoclorito de Sodio. Consultado el 23 de abril del 2014, de: [http://www.aquaquimi.com/Paginas/Trat\\_agua\\_pot/Desinfeccion%20agua/agua%20potable%20cloro.html](http://www.aquaquimi.com/Paginas/Trat_agua_pot/Desinfeccion%20agua/agua%20potable%20cloro.html)

## Ecuación 1.55

Donde:

$P_{Cl}$  = Peso necesario de cloro, Kg/d

C = Concentración de la solución

$V_H$  = Volumen del hipoclorador, m<sup>3</sup>

### 1.13.3 Tanque de Contacto para la Mezcla de Cloro

El tanque que se diseñara para la adición de cloro al agua, también funcionara como tanque de almacenamiento, el tiempo óptimo de retención será de 30min ya que es el tiempo necesario para que actue el cloro, calcular con la siguiente expresión:

$$V_{TM} = Q * t_c * f_s$$

## Ecuación 1.56

Donde:

$V_{TM}$  = Volumen del tanque para la mezcla con el cloro, m<sup>3</sup>

Q = Caudal de diseño, m<sup>3</sup>/s

$t_c$  = Tiempo de contacto, s

$f_s$  = Factor de seguridad, %

### 1.13.4 Altura del Tanque en el que se Realizara la Mezcla

Obteniendo como dato el volumen del tanque podemos calcular su altura:

$$V_{TM} = a * b * l_T$$

## Ecuación 1.57

Donde:

$V_{TM}$  = Volumen del tanque para la mezcla con el cloro, m<sup>3</sup>

a = Altura del tanque, m

b = Ancho del tanque, m



$l_T$  = Largo del tanque, m

## 1.14 PRUEBA DE JARRAS

En una planta de tratamiento de agua, la prueba de jarras es un método importante ya que nos permite determinar la dosificación del floculante, a través la variación de ciertos parámetros como es la concentración, la velocidad de mezclado y nos permite ajustar el pH de acuerdo a las necesidades. Se debe tener mucho cuidado al momento de realizar esta prueba para obtener resultados confiables.

La prueba de jarras tiene los siguientes pasos.

- Llenar los vasos de precipitación con el agua a analizar. Uno de los contenedores debe ser de control, mientras los demás pueden variar las condiciones.
- Colocar el floculante a cada uno de los contenedores y proceder a la mezcla a 100rpm por 1 min.
- Se debe reducir la velocidad de mezclado a 25 o 35rpm y continuar con el proceso de mezclado por un tiempo de 15 a 20min.
- Apagar el equipo y esperar a que sedimente de 20 a 45min.
- Filtrar el contenido de los vasos de precipitación y realizar la caracterización.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Prueba de Jarras. Consultado el 28 de abril del 2014, de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/09234/09234.pdf>

**CAPÍTULO II**  
**PARTE**  
**EXPERIMENTAL**

## 2 PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1 MUESTREO

#### 2.1.1 Localización

La Planta de Tratamiento de Agua Potable se encuentra localizada en la Parroquia de Columbe en el Cantón Colta perteneciente a la Provincia de Chimborazo. Se encuentra a una latitud de 3,077 metros sobre el nivel del mar sus coordenadas son 1°52'60" N y 78°42'0" E.

#### 2.1.2 Recopilación de la Información

En el presente trabajo de investigación se utilizó el método experimental y comparativo, tomando en cuenta los datos de la caracterización actual del agua, a través del cual nos permite determinar la calidad del agua que se suministra a la población.

#### 2.1.3 Plan de Muestreo

Tabla 2.1 Recolección de Muestras

LUGAR DE MUESTREO	DIAS DE MUESTREO	NUMERO DE MUESTRAS DIARIAS	TOTAL DE MUESTRAS EN LA SEMANA	TOTAL DE MUESTRAS
<b>MUESTRAS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL AGUA</b>				
<b>Captación</b>	4	1	4	4
<b>Tanque de Almacenamiento</b>	4	1	4	4
<b>Fuente: YANQUI, Cristian, R</b>			<b>TOTAL DE MUESTRAS</b>	8

Una vez obtenida la muestra, fue trasladada inmediatamente al laboratorio de Análisis de Aguas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica.

## 2.2 METODOLOGIA

### 2.2.1 Metodología de Trabajo

Las muestras se colectaron como estuvo previsto, tomando en cuenta que las muestras se recolectaron en presencia de lluvia y en ausencia de la misma, esto nos permitirá observar el efecto que pueda producir las lluvias en el agua que va ser tratada mediante los resultados que obtengamos, las muestras se las etiqueto y fueron trasladadas el mismo día al laboratorio para el respectivo Análisis Físico-Químico y Microbiológico.

Los recipientes que se utilizaron para la toma de muestras fueron de plástico, para el análisis Microbiológico el recipiente debe ser esterilizado, para evitar cualquier tipo de contaminación.

### 2.2.2 Tratamiento de Muestras

Se tomó una muestra diaria a la que se realizó la caracterización físico-química del agua, enmarcándose en la norma INEN 1108 – 2011 para Agua Potable que consta de los siguientes parámetros.

**Tabla 2.2 Parámetros para Agua Potable**

<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>
<b>Características Físicas</b>	
Color	UTC
Turbiedad	UNT
pH	.....
Conductividad	μ Siems/cm
Sólidos totales	mg/L

Sólidos totales disueltos	mg/L
<b>Inorgánicos</b>	
Cloruros	mg/L
Dureza	mg/L
Calcio	mg/L
Magnesio	mg/L
Alcalinidad	mg/L
Bicarbonatos	mg/L
Sulfatos	mg/L
Amonios	mg/L
Nitritos	mg/L
Nitratos	mg/L
Hierro	mg/L
Fluoruros	mg/L
Fosfatos	mg/L
<b>Microbiológicos</b>	
Coliformes totales	UFC/100ml
Coliformes fecales	UFC/100ml

**Fuente:** Norma INEN 1108: 2010

### 2.2.3 Métodos

Los métodos que se utilizó para los análisis que se realizan en el laboratorio son métodos estandarizados para el Agua Potable y Residual (StandardMethodsforExamination of water and wastewater), además del Manual de Análisis de Agua, métodos HACH.

### 2.2.3.1 Técnicas

**Tabla 2.3 Potencial de Hidrogeno pH**

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
<p>La calidad del agua y el pH son a menudo mencionados en la misma frase. El pH es un factor muy importante, porque determinamos procesos químicos, solamente puede tener lugar a un determinado pH.</p> <p>El pH es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrogeno (<math>H^+</math>) en una sustancia.</p>	Vaso de precipitación de 50ml	Soluciones buffer pH 4 pH 7 pH 10	<p>Calibramos el pH metro con las soluciones buffer respectivas.</p> <p>Colocamos la muestra de agua problema en un vaso de precipitación y colocamos el electrodo.</p> <p>Realizamos la lectura</p>	Lectura directa

**Fuente:** StandardMethods

**Tabla 2.4 Determinación del Color**

Fuente: StandardMethods

Concepto	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
<p>No turbidez color una medida directa</p> <p>colores debido a sustancias en suspensión o en solución. El color verde se debe a presencia de algas, el color amarillo a pardo puede ser por la presencia de hierro y magnesio, también desechos de cromato.</p> <p>Siempre que hay color la calidad varía.</p>	<p>Colorímetro HACH</p> <p>2 Celdas</p>	<p>Agua destilada</p>	<p>Encontramos dos celdas, en la una colocamos agua destilada y en la otra colocamos la muestra.</p> <p>Ubicamos en el equipo, la celda con agua destilada en el lado derecho, y la muestra en el lado izquierdo.</p> <p>Observamos y vamos comparando el color y verificamos el valor que se obtiene</p>	<p>Lectura directa</p>

Tabla 2.5 Determinación de la Turbiedad

grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuando más sólidos en suspensión hay en el agua, más sucia parece esta y mayor será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua.	50ml		Calibramos el equipo con el patrón primario de turbiedad. Calibramos con el patrón la solución estándar secundaria.	
	<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
			Tomamos una celda y colocamos 10ml de la muestra. Nos aseguramos que este bien seca la celda y realizamos la lectura	

**Fuente:** StandardMethods

**Tabla 2.6** Determinación de la Conductividad



La medida de la conductividad depende de la actividad y los tipos de iones del agua. Por	Vaso de precipitación de 50ml.	Solución Patrón (100us/cm, 1000us/cm).	Calibramos el equipo con las respectivas soluciones patrones (100us/cm,	Lectura directa.
<b>Concepto</b> medio de la conductividad	<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b> 1000us/cm).	<b>Cálculos</b>
conocemos de forma global el grado de mineralización de agua, y podemos detectar infiltraciones de aguas superficiales contaminadas.			Colocamos la muestra de agua problema en un vaso de precipitación y colocamos el electrodo Realizamos la lectura.	

**Fuente:** StandardMethods

**Tabla 2.7**Determinación de Sólidos Totales Disueltos

Es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Está relacionada con la conductividad eléctrica	Vaso de precipitación de 50ml.	Agua destilada	Calibramos el equipo con las respectivas soluciones patrones (100us/cm, 1000us/cm).	Lectura directa.
<b>Concepto</b>	<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
			Colocamos la muestra de agua problema en un vaso de precipitación y colocamos el electrodo Realizamos la lectura.	

**Fuente:** StandardMethods

**Tabla 2.8**Determinación de Fosfatos

El fósforo, como el nitrógeno, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización.	2 Erlenmeyer de 250ml. 2 pipetas de 10ml. Celda de 10ml.	Agua destilada. Sobres de reactivo para fosfato.	Programamos el espectrofotómetro para analizar fosfatos. En 2 Erlenmeyer colocamos 10ml de blanco y 10ml de muestra	Lectura directa.
<b>Concepto</b>	<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
Es un constituyente de tipo orgánico que está presente en los compuestos como diversos orto fosfatos, polifosfatos, y fósforo orgánico. Hace convirtiendo todos ellos en orto fosfatos que son los que se determinan con análisis químicos.	2 Erlenmeyer de 250ml. 2 pipetas de 10ml.	Agua destilada Sobres	Programamos el equipo para Añadir el respectivo sobre de hierro que es de 290 enter y Fosfato reactivo tanto el blanco como la muestra y agitamos. Programamos el tiempo de reacción por 2min Colocamos el blanco en una celda de 10ml y procedemos a encerrar el equipo. Colocamos la muestra problema en la celda. Realizamos la lectura.	Lectura directa.

Fuente: StandardMethods

Tabla 2.9 Determinación de Hierro

aguas de formación por lo tanto en las aguas que provienen de estas.	Celda de 10ml.	ferroverlron	510nm. En 2 Erlenmeyer colocamos 10 ml de blanco y 10ml de	
<b>Concepto</b> El óxido de los tubos de hierro o	<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b> muestra.	<b>Cálculos</b>
El magnesio junto al calcio sirve para calibrar la dureza del agua. aumentan considerablemente la cantidad de hierro La cantidad de magnesio depende de la cantidad de terrenos que el	2 Erlenmeyer de 250ml. 2 pipetas de 10ml. Celda de 10ml.	Agua destilada Pan indicador Solución al 10% Solución de cianuro	Programamos el equipo para magnesio que es 290 enter y 510nm. ferroverlron tanto en la muestra como el blanco y 10ml de blanco y 10ml de muestra. agitamos.	Lectura directa.
			Colocamos el blanco en una celda y enceramos el equipo. Colocamos la muestra problema en la celda realizamos la lectura	

Fuente: StandardMethods

Tabla 2.10Determinación de Magnesio

agua atraviesa			Añadimos 15 gotas de pan indicador solución al 10% y agitamos. Programamos el tiempo de reacción por	
<b>Concepto</b>	<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b> 2min	<b>Cálculos</b>
Los nitritos son indeseables en aguas potables de consumo público, algunas aguas debido a terrenos por donde discurren o a las condiciones de almacenamiento, pobre en	2 Erlenmeyer de 250ml. 2 pipetas de 10ml. Celda de 10ml.	Agua destilada Sobres de reactivo nitriver 3	Programamos el equipo para nitritos que Colocamos el blanco en una celda. es 371 enter y 507nm Ponemos la celda con el blanco en el En dos Erlenmeyer colocamos 10ml de equipo y enceramos blanco y 10ml de la muestra. Colocamos la muestra problema en la Añadimos los sobres del reactivo tanto celda. en el blanco como en la muestra Realizamos la lectura	Lectura directa.

**Fuente:** StandardMethods

**Tabla 2.11**Determinación de Nitritos

oxígeno, puede presentar cierto contenido en nitritos. La presencia de nitritos es indicador			agitamos Programamos el tiempo de reacción por 20min	
<b>Concepto</b> de contaminación.	<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
La OMS incluye a los nitratos entre los componentes del agua nociva para la salud, si su concentración es superior a 45mg/L. los nitritos pasan a	2 Erlenmeyer de 250ml. 2 pipetas de 10ml. Celda de 10ml.	Agua destilada Sobres de reactivo nitriver 5	Colocamos el blanco en una celda Programamos el equipo para nitratos Ponemos la celda con el blanco en el equipo y encerramos que es 353 enter y 400nm En dos Erlenmeyer colocamos 10ml de blanco y 10ml de la muestra. Colocamos la muestra problema en la celda Añadimos los sobres del reactivo tanto Realizamos la lectura	Lectura directa.

**Fuente:** StandardMethods

**Tabla 2.12**Determinación de Nitratos

nitritos en el estómago, luego a la sangre y forman metahemoglobina, con lo cual la			en el blanco como en la muestra agitamos Programamos el tiempo de reacción	
<b>Concepto</b> absorción del oxígeno por la	<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b> por 1min	<b>Cálculos</b>
El sulfato (SO <sub>4</sub> ) se encuentra en sangre disminuye, produciendo casi todas las aguas naturales. La asfixia interna mayor parte de los compuestos sulfatos se originan a partir de la oxidación de las menas de sulfato, la presencia de esquistos,	2 Erlenmeyer de 250ml. 2 pipetas de 10ml. Celda de 10ml.	Agua destilada Sobres de reactivo sulfaver 4	Programamos el equipo para sulfatos que es 680 enter y 450nm Colocamos el blanco en una celda Ponemos la celda con el blanco en el equipo y encéramos En dos Erlenmeyer colocamos 10ml de blanco y 10ml de la muestra. Colocamos la muestra problema en la celda Añadimos los sobres del reactivo tanto en el blanco como en la muestra Realizamos la lectura	Lectura directa.

**Fuente:** StandardMethods

**Tabla 2.13**Determinación de Sulfatos

y la existencia de residuos industriales. El sulfato es uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia			agitamos Programamos el tiempo de reacción por 5min	
<b>Concepto</b>	<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
			Colocamos el blanco en una celda Ponemos la celda con el blanco en el equipo y encerramos Colocamos la muestra problema en la celda Realizamos la lectura	

**Fuente:** StandardMethods

**Tabla 2.14**Determinación de Calcio



El calcio es el quinto elemento de orden de abundancia en la corteza terrestre su presencia en las aguas naturales se debe a su paso sobre depósitos de piedra caliza, yeso. La cantidad de calcio puede variar desde 0 hasta varios cientos de mg/L dependiendo de la fuente y tratamiento de agua.	bureta Erlenmeyer de 250ml. Pipetas de 10ml.	Cianuro de potasio Hidróxido de sodio 1N Murexida	Colocamos 25ml de muestra Adicionamos 1ml de KCN + 1ml de Na(OH) + indicador	Multiplicar por el factor correspondiente
<b>Concepto</b>	<b>Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Procedimiento</b>	<b>Cálculos</b>
	Vaso de precipitación de 250ml.	EDTA 0.02M	Murexida Titular con EDTA 0.02M	

**Fuente:** StandardMethods

**Tabla 2.15** Determinación de Alcalinidad Total

La alcalinidad del agua es la capacidad para neutralizar los ácidos y los constituye la suma de	Probeta de 50ml Pipeta de 1ml Vaso de precipitación	Muestra problema Anaranjado de metilo	Tomar 50ml de muestra Agregar 4 gotas de anaranjado de metilo	Multiplicar los ml valorados por 20.
<b>Concepto</b> todas las bases titulables, el valor medido puede variar significativamente con el pH. Depende del contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxido por lo que se puede tomar con una medida directa de la concentración de estos.	<b>Materiales</b> 250ml Agitador magnético Magnetor	<b>Reactivos</b> Ácido sulfúrico 0.02N	<b>Procedimiento</b> Valorar con ácido sulfúrico 0.02N Leer el valor de titulación	<b>Cálculos</b>

**Fuente:** StandardMethods

**Tabla 2.16**Determinación de la Dureza Total

La dureza total mide la capacidad del agua para consumir jabón. Las aguas duras son usualmente	Probeta de 100ml Pipeta de 1ml Vaso de precipitación	Muestra problema Cianuro de potasio Buffer pH 10	Tomar 50ml de muestra Agregar 1ml de KCN + 2ml Buffer pH10 + pisca de negro de eriocromo	Multiplicar los ml de la titulación por 80
<b>Concepto</b> corrosivas que las blandas.	<b>Materiales</b> 250ml	<b>Reactivos</b> Negro de eriocromo	<b>Procedimiento</b> 1	<b>Cálculos</b>
Contienen sales de calcio y magnesio y están disueltas generalmente en forma de carbonatos que por calentamiento pueden formar bicarbonatos que son la causa de incrustaciones en los sistemas de transporte del agua.		T Solución de EDTA	Titular con EDTA Leer el valor de la titulación	

**Fuente:** StandardMethods

**Tabla 2.17**Determinación del Cloro Residual

<p>El cloro libre residual es la cantidad de cloro en forma activa y permanece en el agua el cloro se añade para:</p> <p>Desinfección</p> <p>Prevenir la formación de limo y crecimiento de algas</p> <p>Control de sabor y olor</p> <p>Oxidación de hierro y magnesio</p> <p>Eliminación de sulfuro de hidrogeno eliminación de color</p>	<p>Pipeta de 100ml</p> <p>Celda de 10ml</p>	<p>Sobre de reactivo</p> <p>DPD cloro libre</p> <p>Agua destilada</p>	<p>Programamos el equipo para Cl<sub>2</sub> que es 80 enter</p> <p>Tomamos una celda y colocamos el blanco que es agua destilada y ponemos en el equipo respectivamente y encerramos</p> <p>Colocamos 10ml de la muestra problema en la celda</p> <p>Colocamos el reactivo DPD cloro libre</p> <p>Colocamos la celda en el espectrofotómetro y dejamos pasar 3min</p> <p>Realizamos la lectura</p>	<p>Lectura directa.</p>
--	---	---	---	-------------------------

**Fuente:** StandardMethods

## **2.3 DATOS EXPERIMENTALES**

### **2.3.1 Descripción del Sistema de Agua Potable Actual**

El sistema de abastecimiento de Agua Potable de la población de Columbe, es alimentado actualmente mediante tres vertientes llamadas Secao, la misma que se encuentra ubicada a 15 kilómetros de la comunidad de Columbe. El líquido vital es transportado desde las vertientes hasta un tanque de captación y posteriormente hacia el tanque de almacenamiento por medio de un sistema de tuberías de PVC, una vez que el agua ha llegado a la fase de almacenamiento es distribuida para su consumo.

### **2.3.2 Caracterización del Agua en el Sistema de Tratamiento**

La muestra de agua se obtuvo de la fase de captación ya que es el único procedimiento que se realiza antes de su distribución, se realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

Los resultados son los siguientes:

**Tabla 2.18 Resultados Físico- Químico del Agua Día 1**

<b>Determinaciones</b>	<b>Unidades</b>	<b>Límite máximo Norma NTE INEN 1108:2011</b>	<b>Resultados</b>
Color	Unid. Co/Pt	15	3,4
pH	Unid	6,5 - 8,5	7,74
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	469
Turbiedad	UNT	5	0,606
Cloruros	mg/L	250	0,02
Dureza	mg/L	300	280
Calcio	mg/L	70	38,4
Magnesio	mg/L	30 - 50	45,32
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	330
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	350
Sulfatos	mg/L	200	0,118
Amonios	mg/L	< 0,50	0,308
Nitritos	mg/L	0,2	0,011
Nitratos	mg/L	50	1,6
Hierro	mg/L	0,30	0,04
Fluoruros	mg/L	1,5	0,76
Fosfatos	mg/L	< 0,30	0,46
Sólidos totales	mg/L	1000	580
Sólidos disueltos	mg/L	500	227

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias

**Tabla 2.19 Análisis Microbiológicos Día 1**

<b>Determinaciones</b>	<b>Unidades</b>	<b>Límite Permitido</b>	<b>Valor encontrado</b>
Coliformes Totales	UFC/100ml	< 0	550
Coliformes Fecales	UFC/100ml	< 0	84

**Fuente:** SAQMIC, Laboratorio de Análisis Químicos y Microbiológicos

**Tabla 2.20 Resultados Físico- Químico del Agua Día 2**

<b>Determinaciones</b>	<b>Unidades</b>	<b>Límite máximo Norma NTE INEN 1108:2011</b>	<b>Resultados</b>
Color	Unid. Co/Pt	15	3
pH	Unid	6,5 - 8,5	7,19
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	462
Turbiedad	UNT	5	0,318
Cloruros	mg/L	250	0,02
Dureza	mg/L	300	272
Calcio	mg/L	70	41,6
Magnesio	mg/L	30 - 50	35
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	330
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	320
Sulfatos	mg/L	200	0,169
Amonios	mg/L	< 0,50	0,201
Nitritos	mg/L	0,2	0,018
Nitratos	mg/L	50	2,2
Hierro	mg/L	0,30	0,03
Fluoruros	mg/L	1.5	0,77
Fosfatos	mg/L	< 0,30	1,33
Sólidos totales	mg/L	1000	570
Sólidos disueltos	mg/L	500	226

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias

**Tabla 2.21 Resultados Físico- Químico del Agua Día 3**

<b>Determinaciones</b>	<b>Unidades</b>	<b>Límite máximo Norma NTE INEN 1108:2011</b>	<b>Resultados</b>
Color	Unid. Co/Pt	15	5
pH	Unid	6,5 - 8,5	7,28
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	463
Turbiedad	UNT	5	0,316
Cloruros	mg/L	250	0,02
Dureza	mg/L	300	280
Calcio	mg/L	70	51,2
Magnesio	mg/L	30 - 50	36
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	300
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	330
Sulfatos	mg/L	200	0,161
Amonios	mg/L	< 0,50	0,018
Nitritos	mg/L	0,2	0,011
Nitratos	mg/L	50	1,7
Hierro	mg/L	0,30	0,09
Fluoruros	mg/L	1,5	0,77
Fosfatos	mg/L	< 0,30	1,14
Sólidos totales	mg/L	1000	554
Sólidos disueltos	mg/L	500	224

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias



Tabla 2.22 Resultados Físico- Químico del Agua Día 7

Determinaciones	Unidades	Límite máximo Norma NTE INEN 1108:2011	Resultados
Color	Unid. Co/Pt	15	4
pH	Unid	6,5 - 8,5	7,10
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	470
Turbiedad	UNT	5	1,3
Cloruros	mg/L	250	0,02
Dureza	mg/L	300	272
Calcio	mg/L	70	41,6
Magnesio	mg/L	30 - 50	44
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	320
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	305,5
Sulfatos	mg/L	200	0,166
Amonios	mg/L	< 0,50	0,015
Nitritos	mg/L	0,2	0,05
Nitratos	mg/L	50	3,3
Hierro	mg/L	0,30	0,03
Fluoruros	mg/L	1,5	0,84
Fosfatos	mg/L	< 0,30	1,01
Sólidos totales	mg/L	1000	600
Sólidos disueltos	mg/L	500	228

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias

Tabla 2.23 Promedio de los Análisis Físico - Químicos

Parámetros	Resultado Día 1	Resultado Día 2	Resultado día 3	Resultado Día 7	Promedio
Color	3,4	3	5	4	3,85
pH	7,74	7,19	7,28	7,10	7,33
Conductividad	469	462	463	470	466
Turbiedad	0,606	0,318	0,316	1,3	0,6
Cloruros	0,02	0,02	0,02	0,02	0,3
Dureza	280	272	280	272	276,0
Calcio	38,4	41,6	51,2	41,6	43,2
Magnesio	45,32	35	36	44	40,8
Alcalinidad	330	330	300	320	320,0
Bicarbonatos	350	320	330	305,5	326,4
Sulfatos	0,118	0,169	0,161	0,166	12,5
Amonios	0,308	0,201	0,018	0,015	0,407
Nitritos	0,011	0,018	0,011	0,05	0,03
Nitratos	1,6	2,2	1,7	3,3	1,8
Hierro	0,04	0,03	0,09	0,03	0,308
Fluoruros	0,76	0,77	0,77	0,84	0,8
Fosfatos	0,46	1,33	1,14	1,01	0,94
Sólidos totales	580	570	554	600	576,0
Sólidos disueltos	227	226	224	228	288,9

**Fuente:** Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias

### 2.3.3 Parámetros Fuera de Norma

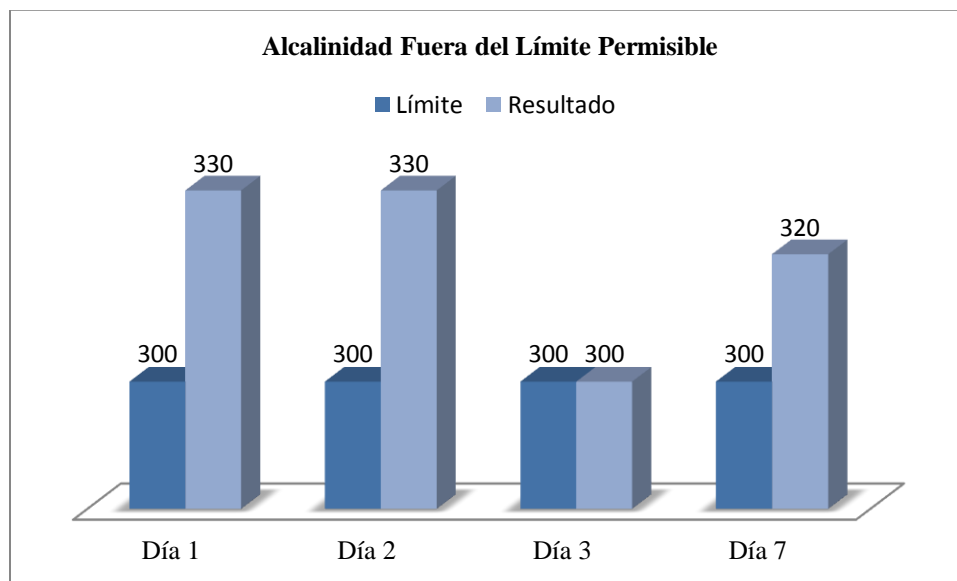
Al finalizar la caracterización se obtuvo los respectivos valores de los parámetros analizados, al compararlos con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 Agua Potable, se pudo identificar que existen parámetros fuera de norma, los cuales son:

**Tabla 2.24 Parámetros Físico-Químicos Fuera de Norma**

Parámetro	Unidades	Límite máximo Norma NTE INEN 1108:2011	Resultado
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	320
Fosfatos	mg/L	< 0,30	0,94

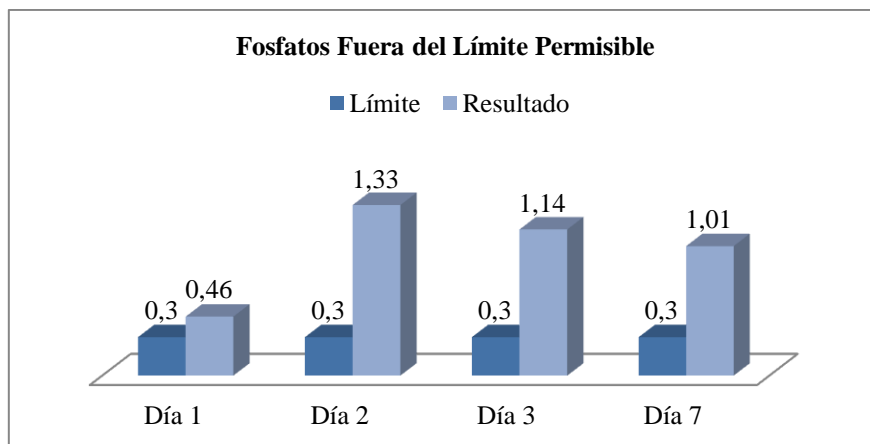
Fuente: YANQUI, Cristian, R

**Gráfico 2.1 Parámetros Físico-Químicos Fuera de Norma**



Fuente: YANQUI, Cristian, R

**Gráfico 2.2 Parámetros Físico-Químicos Fuera de Norma**



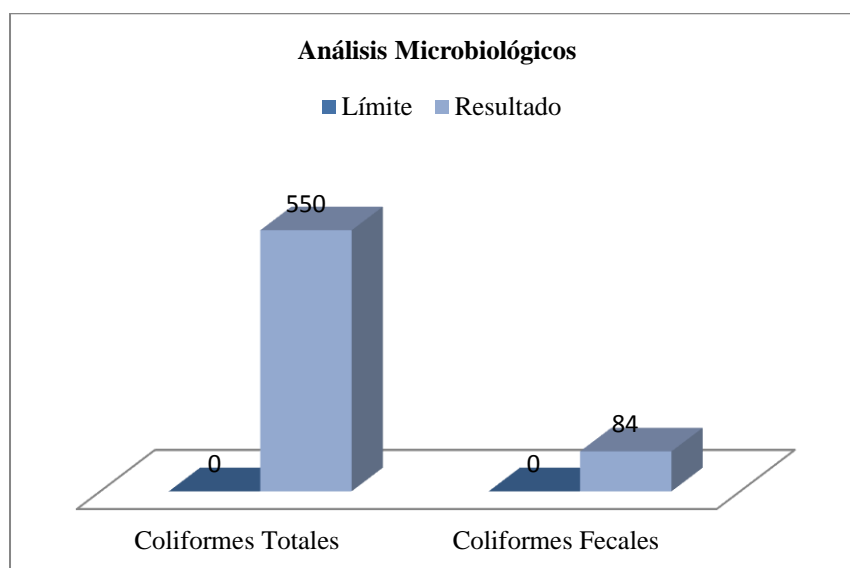
Fuente: YANQUI, Cristian, R

**Tabla 2.25 Parámetros Microbiológicos Fuera de Norma**

Parámetro	Unidades	Límite máximo Norma NTE INEN 1108:2011	Resultado
Coliformes Totales	UFC/100ml	< 0	550
Coliformes Fecales	UFC/100ml	< 0	84

Fuente: YANQUI, Cristian, R

**Gráfico 2.3 Parámetros Microbiológicos Fuera de Norma**



Fuente: YANQUI, Cristian, R

**CAPITULO III**  
**CÁLCULOS Y**  
**RESULTADOS**

### 3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### 3.1 CÁLCULOS

##### 3.1.1 Caudal de Diseño

Se diseñó la planta de tratamiento de aguas con una proyección de 15 años, tomando en cuenta el crecimiento de la población conocida como población futura.

##### 3.1.1.1 Población Futura

La proyección de la población futura se lo puede calcular con la Ecuación 1.1:

$$N_t = N_0(1 + r)^t$$

Datos:

$N_0 = 4000$  habitantes

$r = 3,5\%$  (Tasa de crecimiento)

$$N_t = 4000(1 + 0,035)^{15}$$

$$N_t = 6701,4 \text{ habitante}$$

La población futura para el año 2029 será de 6701,4 habitantes

##### 3.1.1.2 Dotación Básica

Para determinar la dotación básica se lo realiza mediante la Ecuación 1.2:

$$D_B = \frac{V_{ac}}{T_{us}}$$

$$D_B = \frac{259200}{3500}$$

$$D_B = 74,05 \text{ L/habitante x día}$$

La dotación básica por habitante y por día es de 74 L/habitante \* día

### 3.1.1.3 Dotación Futura

La dotación futura se puede calcular con la Ecuación 1.3:

$$D_F = F_M * D_B$$

Datos:

$F_M$  = Factor de Mayorización 1.18 según EP EMAPA - G

$$D_F = 1,18 * 74,05$$
$$D_B = 87,38 \text{ L/habitante x día}$$

### 3.1.1.4 Gasto Medio Diario

El gasto medio diario se lo puede calcular con la Ecuación 1.4:

$$Q_{med} = \frac{P * D_F}{86400}$$
$$Q_{med} = \frac{6704,4 * 87,38}{86400}$$
$$Q_{med} = 6,78 \text{ L/s}$$

### 3.1.1.5 Gasto Máximo Diario

El gasto máximo diario se calcula según la Ecuación 1.5:

$$Q_{Md} = K_1 * Q_{med}$$

Datos:

$K_1$  = coeficiente de variación diaria (1.3 según la E.P.EMAPA-G)

$$Q_{Md} = 1,3 * 6,78 \text{ L/s}$$

$$Q_{Md} = 8,80 \text{ L/s}$$

### 3.1.1.6 Gasto Máximo Horario

El gasto máximo diario se lo obtiene con la Ecuación 1.6:

$$Q_{Mh} = K_2 * Q_{Md}$$

Datos:

$K_2$  = coeficiente de variación horaria (1.6 según la E.P.EMAPA-G)

$$Q_{Mh} = 1,6 * 8,80$$

$$Q_{Mh} = 14,08 \text{ L/s}$$

### 3.1.1.7 Caudal de la Planta de Tratamiento

El caudal de la planta de tratamiento se lo puede calcular con la Ecuación 1.7:

$$Q_{tratamiento} = 1.10 * Q_{Mh}$$

Datos:

Factor de seguridad 1.10

$$Q_{tratamiento} = 1.10 * 14,08$$

$$Q_{tratamiento} = 15,48 \text{ L/s}$$

Nuestro Caudal de Diseño para nuestra planta de tratamiento es de  $15,48 \text{ L/s}$

### 3.1.2 Desarenador

El cálculo del desarenador se realiza con el objetivo de separar las partículas que se encuentren en suspensión del agua a tratar, asegurando la eficiencia de los demás procesos.



### 3.1.2.1 Número de Reynolds

El número de Reynolds se puede calcular con la Ecuación 1.8:

$$N_{RE} = \frac{V * \phi * \rho}{\mu}$$

Datos:

$$V = 1,91 \text{ m/s}$$

$$\phi = 0,101 \text{ m}$$

$$N_{RE} = \frac{1,91 * 1 * 0,101}{1}$$

$$N_{RE} = 0,19$$

El número de Reynolds que se obtiene da como resultado que nuestro fluido es de tipo laminar

### 3.1.2.2 Velocidad de Sedimentación

La velocidad de sedimentación se calcula con la Ecuación 1.9:

$$V_s = \frac{1}{18} * g \frac{(\rho_a - \rho)d^2}{\mu}$$

$$V_s = \frac{1}{18} * 981 \frac{(2,65 - 1)(0,02)^2}{0,012068}$$

$$V_s = 2,98 \text{ cm/s}$$

La velocidad de las partículas para sedimentar es de  $0,0298 \text{ m/s}$

### 3.1.2.3 Número de Reynolds

El número de Reynolds se puede calcular con la Ecuación 1.10:

$$N_{RE} = \frac{V_s * d}{\mu}$$

$$N_{RE} = \frac{2,98 * 0,02}{0,012068}$$

$$N_{RE} = 4,93$$

### 3.1.2.4 Coeficiente de Arrastre

El coeficiente de arrastre calculamos con la Ecuación 1.11:

$$C_D = \frac{24}{N_{RE}} + \frac{3}{\sqrt{N_{RE}}} + 0,34$$

$$C_D = \frac{24}{4,93} + \frac{3}{\sqrt{4,93}} + 0,34$$

$$C_D = 6,55$$

### 3.1.2.5 Velocidad de Sedimentación en la Zona de Transición

La velocidad de transición se puede calcular con la Ecuación 1.12:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} * (\rho_a - 1)d}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{981}{6,55} * (2,65 - 1)(0,02)}$$

$$V_s = 2,56 \text{ cm/s}$$

### 3.1.2.6 Área Superficial

El área superficial se calcula con la Ecuación 1.13:

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

$$A_s = \frac{0,01548}{0,0298}$$

$$A_s = 0,51\text{m}^2$$

### 3.1.2.7 Dimensiones del Desarenador

**Ancho (b):** valor recomendado para el diseño 0,60m. Por motivos de limpieza se diseñara un desarenador de dos canales lo que da un ancho de 1,20m

#### Largo

El largo del desarenador se puede calcular con la ecuación 1.14:

$$L_D = 3b$$

$$L_D = 3(0,60)$$

$$L_D = 1,80\text{m}$$

### 3.1.2.8 Condiciones de Diseño

Para comprobar si el diseño que se propone está correctamente debe cumplir con la siguiente condición

$$V_a > V_h$$

### 3.1.2.9 Velocidad del Horizonte

La velocidad del horizonte se calcula con la Ecuación 1.15:

$$V_h = \frac{Q}{A_s}$$

$$V_h = \frac{0,01548}{0,51}$$

$$V_h = 0,030 \text{ m/s}$$

### 3.1.2.10 Velocidad de Arrastre

La velocidad de arrastre se puede calcular con la Ecuación 1.16:

$$V_{ar} = 125[(\rho_a - \rho)d]^{1/2}$$

$$V_{ar} = 125[(2,65 - 1)0,02]^{1/2}$$

$$V_{ar} = 22,7 \text{ cm/s}$$

$$0,227 \text{ m/s} > 0,030 \text{ m/s}$$

### 3.1.2.11 Altura del Desarenador

La altura total del desarenador se puede calcular con la Ecuación 1.17:

$$H_D = \frac{Q}{b * V_h}$$

$$H_D = \frac{0,01548}{0,60 * 0,030}$$

$$H_D = 0,87 \text{ m}$$

### Factor de seguridad del 15%

$$H_D = 0,87 * 1,15$$

$$H_D = 1,00 \text{ m}$$

### 3.1.2.12 Periodo de Retención

El periodo de retención se puede calcular con la Ecuación 1.18:

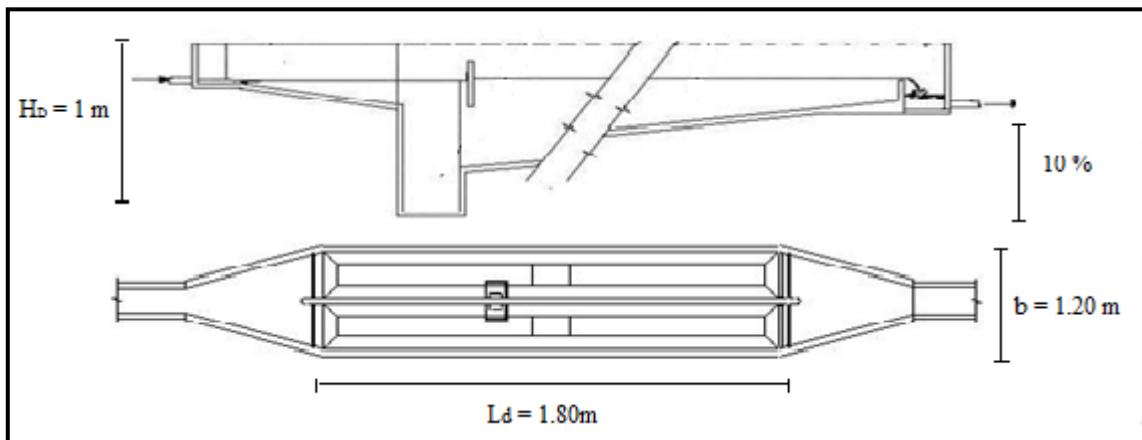
$$P_R = \frac{L_D * b * H_D}{Q}$$

$$P_R = \frac{1,80 * 0,60 * 1}{0,01548}$$

$$P_R = 70s$$

$$P_R = 1,17min$$

**Figura 3.1 Dimensiones del Desarenador**



Fuente: YANQUI, Cristian, R

### 3.1.3 Vertedero Rectangular

El objetivo del vertedero rectangular es realiza una mezcla rápida y homogénea, que nos facilitara la aplicación del floculante, para determinar si el vertedero propuesto está correctamente diseñado debe cumplir ciertos requerimientos de diseño.

#### 3.1.3.1 Caudal Especifico

El caudal específico se lo puede calcular con la Ecuación 1.19:

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

Datos:

$B = 0,50$  m Ancho del Vertedero se obtiene de la Tabla 1.3:

$$q = \frac{0,015}{0,50}$$
$$q = 0,03 \text{ m}^2/\text{s}$$

### 3.1.3.2 Carga Disponible

La carga disponible se obtiene a partir de la Ecuación 1.20:

$$H = 0,67q^{2/3}$$
$$H = 0,67(0,03)^{2/3}$$
$$H = 0,06\text{m}$$

### 3.1.3.3 Altura Crítica

La altura crítica se calcula con la Ecuación 1.21:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$
$$h_c = \sqrt[3]{\frac{(0,03)^2}{9,8}}$$
$$h_c = 0,04\text{m}$$

### 3.1.3.4 Altura del Agua en la Sección 1

La altura del agua en la sección 1, o la altura en el resalto se puede calcular con la Ecuación 1.22:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} * h_c}{\sqrt{\frac{A_c}{h_c} + 2,56}}$$

Datos:

$A_c = 0,67$  m Altura de la Cresta obtenido de la Tabla 1.3:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} * 0,04}{\sqrt{\frac{0,67}{0,04} + 2,56}}$$

$$h_1 = 0,01\text{m}$$

### 3.1.3.5 Velocidad del Agua en la Sección 1

La velocidad del agua que se produce en la sección 1 se calcula con la Ecuación 1.23:

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

$$V_1 = \frac{0,03}{0,01}$$

$$V_1 = 1,98 \text{ m/s}$$

### 3.1.3.6 Número de Froude

El número de Froude se calcula con la Ecuación 1.24:

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}}$$

$$F_1 = \frac{1,98}{\sqrt{9,8 * 0,01}}$$

$$F_1 = 5,16$$

Para que el diseño se encuentre correctamente el número de Froude debe estar dentro del siguiente parámetro 4,5 y 9

### 3.1.3.7 Altura del Agua en la Sección 2

La altura del agua en la sección 2, o la altura después del resalto se calcula con la Ecuación 1.25:

$$h_2 = \left(\frac{h_1}{2}\right) \left(\left[\sqrt{1 + 8F_1^2}\right] - 1\right)$$

$$h_2 = \left(\frac{0,01}{2}\right) \left(\left[\sqrt{1 + 8(5,16)^2}\right] - 1\right)$$

$$h_2 = 0,10\text{m}$$

### 3.1.3.8 Velocidad del Agua en la Sección 2

La velocidad del agua en la sección 2 se puede calcular con la Ecuación 1.26:

$$V_2 = \frac{q}{h_2}$$

$$V_2 = \frac{0,03}{0,10}$$

$$V_2 = 0,29 \text{ m/s}$$

### 3.1.3.9 Longitud del Resalto

La longitud del resalto se puede calcular con la Ecuación 1.27:

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$



$$L_j = 6(0,10 - 0,01)$$

$$L_j = 0,52\text{m}$$

### 3.1.3.10 Longitud del Salto

La longitud del salto se puede calcular con la Ecuación 1.28:

$$L_m = 4,3P \left( \frac{h_c}{A_c} \right)^{0.9}$$

$$L_m = 4,3 * 0,67 \left( \frac{0 - 0,4}{0,67} \right)^{0.9}$$

$$L_m = 0,25\text{m}$$

### 3.1.3.11 Pérdida de Carga en el Resalto

La pérdida de carga en el resalto se puede calcular con la Ecuación 1.29:

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_2h_1}$$

$$h_p = \frac{(0,10 - 0,01)^3}{4 * 0,10 * 0,01}$$

$$h_p = 0,10\text{m}$$

### 3.1.3.12 Velocidad Media

La velocidad media se puede calcular con la Ecuación 1.30:

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$V_m = \frac{1,98 + 0,29}{2}$$

$$V_m = 1,13 \text{ m/s}$$

### 3.1.3.13 Tiempo de Mezcla

El tiempo de mezcla se puede calcular con la Ecuación 1.31:

$$T_m = \frac{L_j}{V_m}$$

$$T_m = \frac{0,52}{1,13}$$

$$T_m = 0,46 \text{ s}$$

### 3.1.3.14 Gradiente de Velocidad

El gradiente de velocidad se calcula con la Ecuación 1.32:

$$G = \sqrt{\gamma/\mu} \sqrt{\frac{h_p}{T_m}}$$

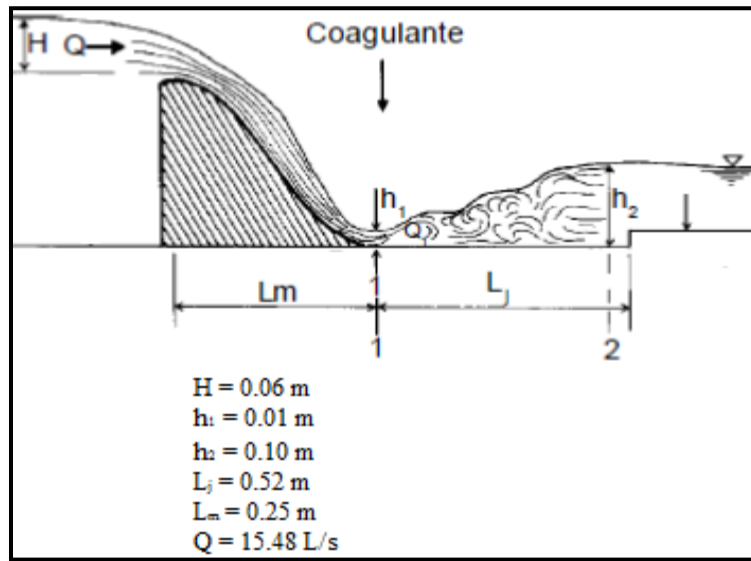
Datos:

$\sqrt{\gamma/\mu}$  a 15°C = 2920 se obtiene de la Tabla 1.3

$$G = \sqrt{2920} \sqrt{\frac{0,10}{0,46}}$$

$$G = 1408,3 \text{ s}^{-1}$$

Figura 3.2 Dimensionamiento del Vertedero Rectangular



Fuente: YANQUI, Cristian, R

### 3.1.4 Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal

El Floculador hidráulico tiene como función principal la formación de los flóculos mediante una agitación lenta, este procedimiento permite la unión de los flóculos hasta obtener un peso tal que les permita sedimentar. Se recomienda que el paso del mezclador al floculador sea de inmediato o instantáneo para evitar el rompimiento de los flóculos.

#### 3.1.4.1 Distancia Recorrida por el Agua

La distancia recorrida por el agua se calcula con la Ecuación 1.33:

$$l = v * t$$

$$l = 0.29 * 20 * 60$$

$$l = 352,8\text{m}$$

### 3.1.4.2 Volumen del Agua

El volumen de agua cada 20 min se calcula con la Ecuación 1.34:

$$V_a = Q * t$$

Datos:

$$Q = 0,015 \text{ Caudal de Diseño } \text{m}^3/\text{s}$$

$$t = 20 \text{ min Tiempo de Retención}$$

$$V_a = 0,015 * 20 * 60$$

$$V_a = 18,57 \text{m}^3$$

### 3.1.4.3 Sección Transversal de los Canales

La sección transversal de los canales se calcula con la Ecuación 1.35:

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

$$v = 0,29 \text{m/s Velocidad de entrada del agua}$$

$$A = \frac{0,015}{0,29}$$

$$A = 0,05 \text{m}^2$$

### 3.1.4.4 Profundidad del Agua

La profundidad del agua se puede calcular con la Ecuación 1.36:

$$P_a = \frac{A}{z}$$

Datos:

$z = 0,15\text{m}$  distancia entre tabiques.

$$P_a = \frac{0,05}{0,15}$$

$$P_a = 0,34\text{m}$$

Para evitar daños en el diseño aplicamos un factor de seguridad del 15% entonces la profundidad del tanque será:

$$Y = 0,34 * 1,15$$

$$Y = 0,4\text{m}$$

#### **3.1.4.5 Espacio Libre entre los Tabiques y la Pared del Tanque**

El espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque se calcula con la Ecuación 1.37:

$$e = 1,5 * z$$

$$e = 1,5 * 0,15$$

$$e = 0,23\text{m}$$

#### **3.1.4.6 Longitud efectiva de cada Canal**

La longitud efectiva del canal se puede calcular con la Ecuación 1.38:

$$L_E = B_F - e$$

Datos:

$B_F = 8\text{ m}$ , Ancho del Floculador.

$$L_E = 8 - 0,23$$

$$L_E = 7,7\text{m}$$

### 3.1.4.7 Número Requerido de Canales

El número que se requiere de canales se lo calcula con la Ecuación 1.39:

$$N = \frac{l}{L_E}$$

$$N = \frac{352,8}{7,7}$$

$$N = 45$$

### 3.1.4.8 Longitud Total de la Cámara De Flocculación

La longitud total de la cámara de flocculación se calcula con la Ecuación 1.40:

$$L_T = N * z + (N - 1)b$$

$$L_T = 45 * 0,15 + (45 - 1)0,03$$

$$L_T = 8,07\text{m}$$

### 3.1.4.9 Radio Hidráulico

El radio hidráulico se calcula con la ecuación 1.41:

$$R = \frac{A}{2d + 0,15}$$

$$R = \frac{0,05}{2(0,34) + 0,15}$$

$$R = 0,06\text{m}$$

### 3.1.4.10 Pérdidas por Fricción en el Tanque

Las pérdidas por fricción en el tanque se puede calcular con la Ecuación 1.42:

$$h_f = \frac{(v * n)^2}{R^{4/3}} l$$

Datos:

$n$  = Coeficiente de Manning para Cemento Simple 0,013 se obtiene de la tabla 1.5

$$h_f = \frac{(0,29 * 0,013)^2}{(0,06)^{4/3}} * 352,8$$

$$h_f = 0,20\text{m}$$

### 3.1.4.11 Pérdidas Adicionales

Las pérdidas adicionales se puede calcular con la Ecuación 1.43:

$$h_a = K(N - 1) \frac{v^2}{2g}$$

$$h_a = 3(45 - 1) \frac{(0,29)^2}{2 * 9,8}$$

$$h_a = 0,58\text{m}$$

### 3.1.4.12 Pérdida Total de Energía

La pérdida total de energía se calcula con la Ecuación 1.44:

$$h_T = h_f + h_a$$

$$h_T = 0,20 + 0,58$$

$$h_T = 0,78\text{m}$$

El fondo del floculador de flujo horizontal debe tener una pendiente igual a la pérdida calculada, es decir tendrá una inclinación proporcional a 0,78m con el objetivo de que la altura del agua permanezca constante y por tanto también el gradiente de velocidad.

### 3.1.4.13 Gradiente de Velocidad

La gradiente de velocidad se puede calcular con la Ecuación 1.45:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h_T}{\mu T}}$$

Datos:

$$\gamma = 9798 \text{ N/m}^3$$

$$\mu = 1.139 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

$$G = \sqrt{\frac{9798 * 0,78}{1.13 \cdot 10^{-3} * 20 * 60}}$$
$$G = 74,77 \text{ s}^{-1}$$

### 3.1.4.14 Número de Camp

El número de Camp se puede calcular con la Ecuación 1.46:

$$G_T = G * t$$

$$G_T = 74,77 * 20 * 60$$

$$G_T = 89724$$

El diseño que se presenta cumple con las condiciones, ya que el Gradiente de Velocidad y el número de Camp se encuentra dentro de los parámetros establecidos, por lo tanto el diseño es correcto.



### 3.1.4.15 Dosificación del Policloruro de Aluminio

Para la dosificación del Policloruro de aluminio se lo realizara en un dosificador, con una solución al 5%, el volumen que se requiere se determinó en base a los análisis que se realizaron en laboratorio.

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

Datos:

Q = Caudal de diseño, m<sup>3</sup>/h

C = Concentración de la solución

P = Porcentaje de la dilución

$\rho$  = Densidad del PAC

$$x = \frac{55,72 * 16}{60 * 4 * 1,24}$$

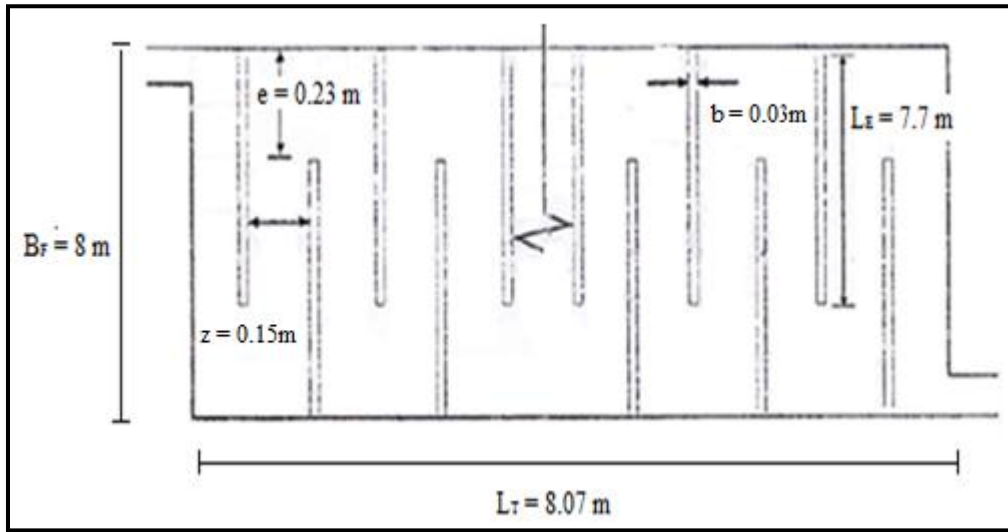
$$x = 3 \text{ ml/min}$$

Conversión para determinar cuánto se debe utilizar en un día.

$$x = \frac{3 * 60 * 24}{1000}$$

$$x = 4,32 \text{ L/día}$$

**Figura 3.3 Dimensionamiento del Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal**



Fuente: YANQUI, Cristian, R

### 3.1.5 Tanque Intercambiador de Cationes

El tanque intercambiador de cationes estará dimensionado para un caudal de 15.48L/s, tendrá una formula cilíndrica, y nos ayudara a detener los iones calcio y magnesio.

#### 3.1.5.1 Dureza Expresada en Granos por Galón

La dureza expresada en granos por galón se puede calcular con la siguiente Ecuación 1.47:

$$D_{Gg} = \frac{Dp}{17,1}$$

$$D_{Gg} = \frac{276}{17,1}$$

$$D_{Gg} = 16,14Gg$$

#### 3.1.5.2 Granos Necesarios por Día

Se puede calcular con la siguiente Ecuación 1.48:

$$G_d = Q * D_g$$

$$G_d = 353361,16 * 16,14$$

$$G_d = 5703249,12 \text{ granos/día}$$

### 3.1.5.3 Volumen de la Resina

El volumen necesario de resina se puede calcular con la Ecuación 1.49:

$$V_r = \frac{G_d}{3000}$$

$$V_r = \frac{5703249,12}{3000}$$

$$V_r = 190\text{ft}^3$$

$$V_r = 5,38\text{m}^3$$

### 3.1.5.4 Volumen del Tanque

El volumen del tanque puede calcularse con la Ecuación 1.50:

$$V_T = V_r * E$$

$$V_T = 5,38 * 1,75$$

$$V_T = 9,41\text{m}^3$$

### 3.1.5.5 Área Del Tanque

El área del tanque se puede calcular con la ecuación 1.51:

$$A_T = \frac{V_r}{h_r}$$

$$A_T = \frac{190}{3}$$

$$A_T = 63,3\text{ft}^2$$

$$A_T = 5,88\text{m}^2$$

### 3.1.5.6 Diámetro Del Tanque

El diámetro del tanque puede calcularse con la ecuación 1.52:

$$D_t = \sqrt{\frac{4A_T}{\pi}}$$

$$D_t = \sqrt{\frac{4(5,88)}{\pi}}$$

$$D_t = 2,73\text{m}$$

### 3.1.5.7 Altura del Tanque

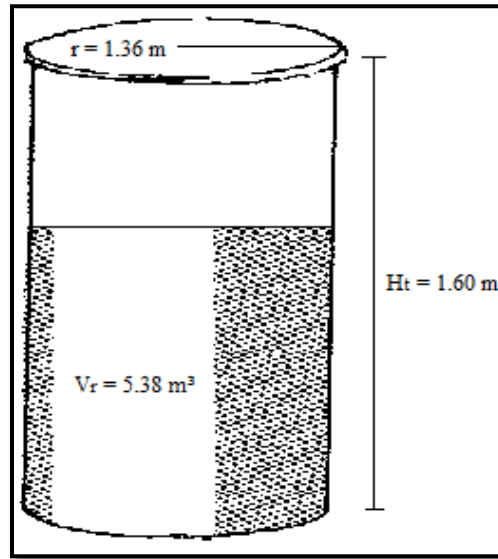
La altura del tanque puede calcularse con la Ecuación 1.53:

$$H_t = \frac{V_T}{A_T}$$

$$H_t = \frac{9,41}{5,88}$$

$$H_t = 1,60\text{m}$$

Figura 3.4 Dimensionamiento del Tanque Intercambiador de Cationes



Fuente: YANQUI, Cristian, R

Por cuestiones de mantenimiento se dimensiono dos tanques de intercambio iónico.

### 3.1.6 Ciclos de Regeneración de la Resina

Para determinar el ciclo de regeneración de la resina se debe saber dos datos importantes que son la capacidad de la resina en granos por pie cubico, y el volumen de la resina.

$$\frac{K_{\text{granos}}}{\text{ft}^3 * \text{dia}} = \frac{\text{granos} / \text{dia}_{\text{resina}}}{V_r}$$

$$\frac{K_{\text{granos}}}{\text{ft}^3 * \text{dia}} = \frac{5703249,12}{190(1000)}$$

$$30,10 \text{ Kgranos} / \text{ft}^3 * \text{dia}$$

Para determinar cada cuanto se debe realizar la regeneración de la resina, se debe multiplicar la capacidad que tiene la resina por su eficiencia y este valor se debe dividir

para los Kgranos por pie cubico que es la cantidad de resina que se utiliza cada día de trabajo.

$$\frac{30,4 \text{ Kgranos} / \text{ft}^3 * (0,80)}{30,10 \text{ Kgranos} / \text{ft}^3 * \text{dia}} = 0,80 \text{ día}$$

Con el dato resultado obtenido podemos deducir que la regeneración de la resina se lo debe realizar cada día para mantener los parámetros dentro de la norma.

### 3.1.7 Tanque de Salmuera

El tanque se diseñara para preparar una solución de salmuera al 5%, se empleara 5ml de dicha solución para activar 3 gramos de resina, se deberá tomar en cuenta esta relación para preparar una solución de salmuera para un volumen de resina de 190ft<sup>3</sup>, se conoce que la densidad de la resina es de 50lb/ft<sup>3</sup>, dato obtenido de la ficha técnica.

Se obtiene la cantidad de resina al multiplicar la densidad y el volumen de la misma.

$$M_r = V_r * \rho_r$$

$$M_r = 190 \text{ft}^3 * 50 \text{lb} / \text{ft}^3$$

$$M_r = 9500 \text{lb}$$

$$M_r = 4309 \text{Kg}$$

Para tratar 4309Kg de resina, se necesita 4309L de salmuera. La cantidad de cloruro de sodio (NaCl) que se ocupará para preparar dicha solución será de 120Kg. Tomando en cuenta el volumen de salmuera calculado y un factor de seguridad del 15% se diseñara un tanque que tenga una capacidad de 4,95m<sup>3</sup>.

### 3.1.8 Dosificación del Cloro

La dosificación de cloro se realiza para el caudal de diseño que es 15.48L/s.

### 3.1.8.1 Peso de Cloro Necesario

La dosificación del hipoclorito de sodio será de 1,5mg/L, ya que es el valor recomendado.

El peso de cloro se determinara con la Ecuación 1.54:

$$P_{Cl} = \frac{Q * D * 86400}{1000}$$

$$P_{Cl} = \frac{0,01548 * 1,5 * 86400}{1000}$$

$$P_{Cl} = 2 \text{ Kg/d}$$

### 3.1.8.2 Volumen del Hipoclorador

El volumen del hipoclorador se puede calcular con la Ecuación 1.55:

$$V_h = \frac{P_{Cl}}{5C}$$

$$V_h = \frac{2}{5(5)}$$

$$V_h = 0,08\text{m}^3$$

### 3.1.8.3 Volumen del Tanque para la Mezcla de Cloro

El volumen para de la mezcla de cloro se puede calcular con la Ecuación 1.56:

$$V_{TM} = Q * t_c * fs$$

$$V_{TM} = 0,01548 * 30 * 60 * 1,15$$

$$V_{TM} = 32\text{m}^3$$

### 3.1.8.4 Altura del Tanque para la Mezcla de Cloro

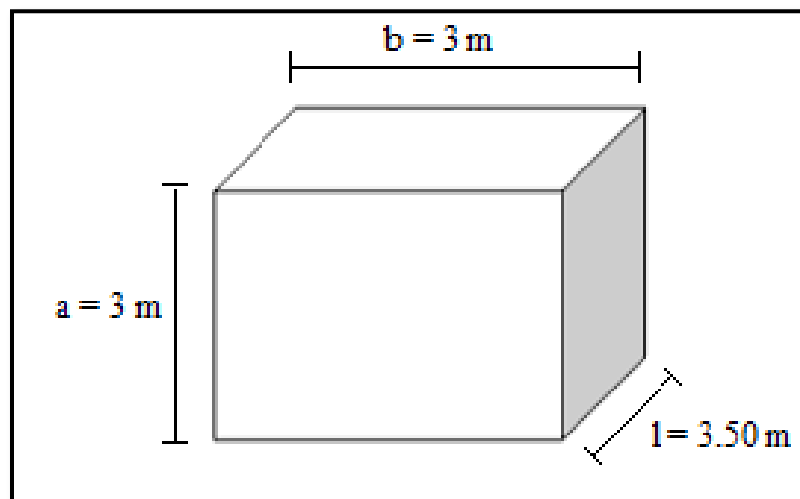
La altura del tanque se puede calcular con la Ecuación 1.57:

$$V_{TM} = a * b * l$$

$$32 = a * 3,50 * 3$$

$$a = 3\text{m}$$

Figura 3.5 Dimensionamiento del Tanque para la Mezcla de Cloro



Fuente: YANQUI, Cristian, R



## 3.2 RESULTADOS

### 3.2.1 Caudal de Diseño

Tabla 3.1 Resultado del Caudal de Diseño

Cálculo	Símbolo	Resultado	Unidades
Población futura	$N_t$	6701,4	Habitante
Dotación básica	$D_B$	74,05	L/habitante x día
Dotación futura	$D_F$	87,38	L/habitante x día
Gasto medio diario	$Q_{med}$	6,78	L/s
Gasto máximo diario	$Q_{Md}$	8,80	L/s
Gasto máximo horario	$Q_{Mh}$	14,08	L/s
Caudal de la planta de tratamiento	$Q_{tratamiento}$	15,48	L/s

Fuente: YANQUI, Cristian, R

### 3.2.2 Desarenador

Tabla 3.2 Resultado del Cálculo del Desarenador

Cálculo	Símbolo	Resultado	Unidades
Número de Reynolds	$N_{RE}$	0,19	....
Velocidad de sedimentación	$V_s$	0,0298	m/s
Numero de Reynolds	$N_{RE}$	4,93	....
Coefficiente de arrastre	$C_D$	6,55	....
Velocidad de sedimentación en la zona de transición	$V_s$	0,0298	m/s
Área superficial	$A_s$	0,51	m <sup>2</sup>

Ancho	B	1,20	m
Largo	$L_d$	1,80	m
Velocidad del horizonte	$V_h$	0,030	m/s
Velocidad de arrastre	$V_{ar}$	0,227	m/s
Altura del desarenador	$H_D$	1,00	m

Fuente: YANQUI, Cristian, R

### 3.2.3 Vertedero Rectangular

Tabla 3.3 Resultado del Cálculo del Vertedero Rectangular

Cálculo	Símbolo	Resultado	Unidad
Caudal específico	q	0,03	$m^2/s$
Carga disponible	H	0,06	m
Altura crítica	$h_c$	0,04	m
Altura del agua en la sección 1	$h_1$	0,01	m
Velocidad del agua en la sección 1	$V_1$	1,98	m/s
Número de Froude	$F_1$	5,16	....
Altura del agua en la sección 2	$h_2$	0,10	m
Velocidad del agua en la sección 2	$V_2$	0,29	m/s
Longitud del resalto	$L_j$	0,52	m
Longitud del salto	$L_m$	0,25	m
Pérdida de carga en el resalto	$h_p$	0,10	m
Velocidad media	$V_m$	1,13	m/s
Tiempo de mezcla	$T_m$	0,46	s
Gradiente de velocidad	G	1408,3	$s^{-1}$

Fuente: YANQUI, Cristian, R

### 3.2.4 Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal

**Tabla 3.4 Resultado del Cálculo del Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal**

Cálculo	Símbolo	Resultado	Unidad
Distancia recorrida por el agua	$l$	352,8	m
Volumen del agua	$V$	18,57	$m^3$
Sección transversal de los canales	$A$	0,05	$m^2$
Profundidad del agua	$P_a$	0,34	m
Espacio entre los tabiques y la pared	$e$	0,23	m
Longitud efectiva de cada canal	$L_E$	7,7	m
Número de canales	$N$	45	....
Longitud total de la cama de floculación	$L_T$	8,07	m
Radio hidráulico	$R$	0,06	m
Pérdidas por fricción en el tanque	$h_f$	0,20	m
Pérdidas adicionales	$h_a$	0,58	m
Pérdida total de energía	$h_T$	0,78	m
Gradiente de velocidad	$G$	74,77	$s^{-1}$
Número de Camp	$G_T$	89724	....

Fuente: YANQUI, Cristian, R

### 3.2.5 Tanque Intercambiador de Cationes

**Tabla 3.5 Resultado del Cálculo del Tanque Intercambiador de Cationes**

Cálculos	Símbolo	Resultado	Unidad
Dureza expresada en granos por galón	$D_{Gg}$	16,14	Gg
Granos necesario por día	$G_d$	5703249,12	granos/día
Volumen de la resina	$V_r$	5,38	$m^3$
Volumen del tanque	$A_T$	5,88	$m^2$
Diámetro del tanque	$D_t$	2,73	m
Altura del tanque	$H_t$	1,60	m

Ciclos de regeneración	....	1	Día
<b>Tanque de Salmuera</b>			
Cantidad de cloruro de sodio	P	120	Kg
Cantidad de agua	$V_{\text{agua}}$	4309	L
Volumen del tanque	$V_{\text{tanque}}$	4,95	$\text{m}^3$

Fuente: YANQUI, Cristian, R

### 3.2.6 Desinfección

Tabla 3.6 Resultado del Cálculo de Dosificación del Cloro

Cálculo	Símbolo	Resultado	Unidad
Peso necesario de cloro	$P_{\text{Cl}}$	2	$\text{Kg}/\text{d}$
Volumen del hipoclorador	$V_{\text{H}}$	0,08	$\text{m}^3$
Volumen del tanque para el mezclado	$V_{\text{TM}}$	32	$\text{m}^3$
Altura del tanque para mezclado	a	3	m

Fuente: YANQUI, Cristian, R

### 3.3 PRUEBA DE JARRAS

La prueba de jarras se realizó en El Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, se utilizó Policloruro de Aluminio, para obtener la dosificación exacta se realizó soluciones a distintas concentraciones que van desde 1ppm hasta 10ppm, se aplicó a distintos volúmenes y se comprobó su eficiencia para bajar los parámetros que están fuera de norma.

#### 3.3.1 Resultado Final Análisis Físico - Químico y Microbiológico del Agua Tratada

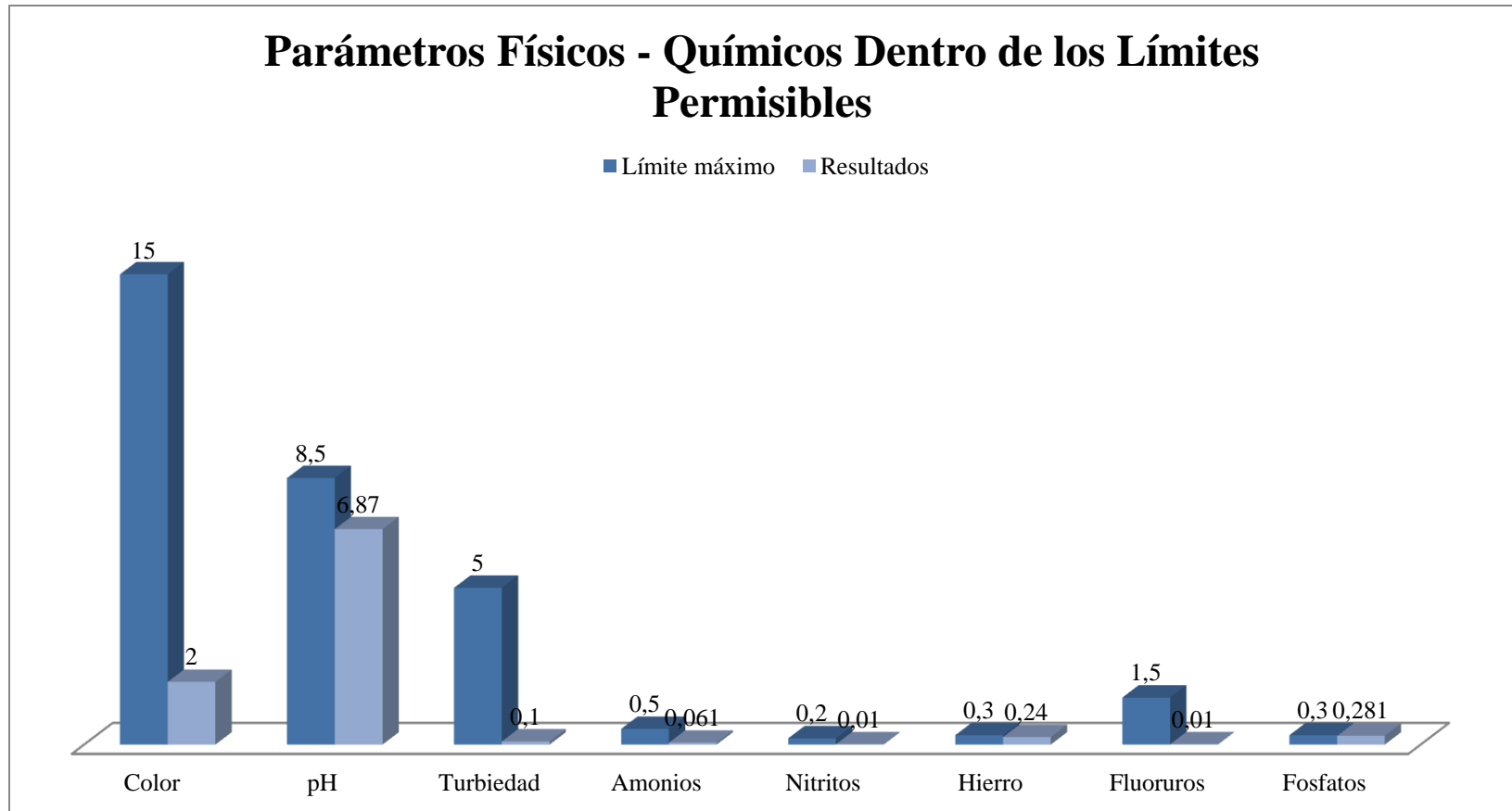
Tabla 3.7 Análisis Físico - Químico del Agua Tratada

Determinaciones	Unidades	Límite máximo Norma NTE INEN 1108:2011	Resultados
Color	Unid. Co/Pt	15	2,00

pH	Unid	6,5 - 8,5	6,87
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	721
Turbiedad	UNT	5	0,1
Cloruros	mg/L	250	21,3
Dureza	mg/L	300	160
Calcio	mg/L	70	22,4
Magnesio	mg/L	30 - 50	25,3
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	220,0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	224,4
Sulfatos	mg/L	200	10,1
Amonios	mg/L	< 0,50	0,061
Nitritos	mg/L	0,2	0,01
Nitratos	mg/L	50	5,2
Hierro	mg/L	0,30	0,24
Fluoruros	mg/L	1,5	0,01
Fosfatos	mg/L	< 0,30	0,281
Sólidos totales	mg/L	1000	700,0
Sólidos disueltos	mg/L	500	351,0
Cloro Residual	mg/L	0,4-1,5	0,9

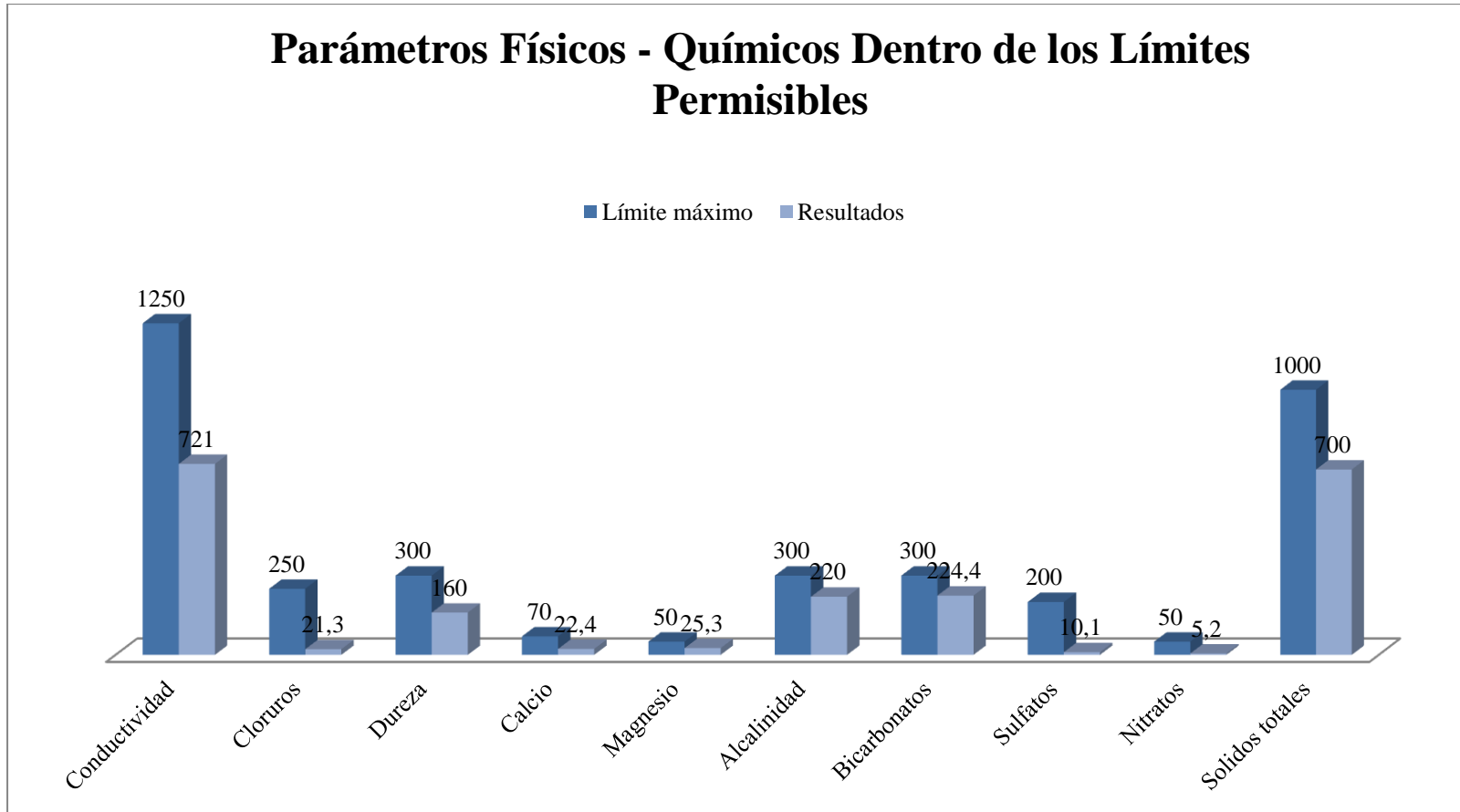
**Fuente:**Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias

Gráfico 3.1 Parámetros Físicos - Químicos del Agua Tratada



Fuente: YANQUI, Cristian, R

Gráfico 3.2 Parámetros Físicos - Químicos del Agua Tratada



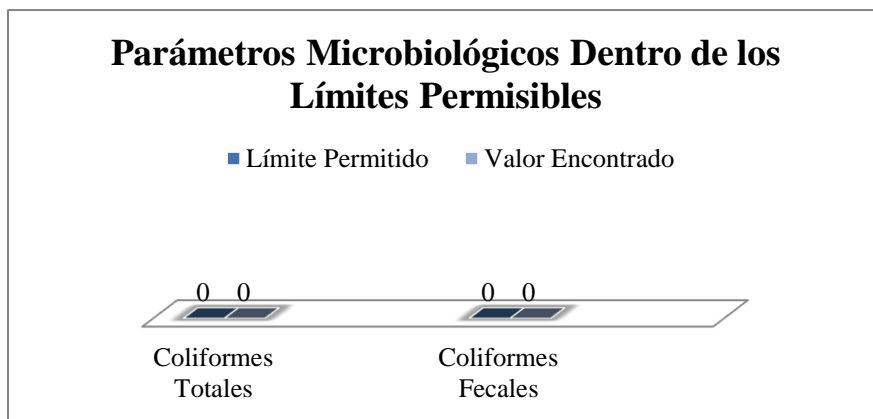
Fuente: YANQUI, Cristian, R

**Tabla 3.8 Análisis Microbiológico del Agua Tratada**

Determinaciones	Unidades	Límite Permitido	Valor encontrado
Coliformes Totales	UFC/100ml	0	0 (Ausencia)
Coliformes Fecales	UFC/100ml	0	0 (Ausencia)

Fuente: SAQMIC, Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos

**Gráfico 3.3 Análisis Microbiológicos del Agua Tratada**



Fuente: YANQUI, Cristian, R

### 3.4 REDIMIENTO DE LA POTABILIZACIÓN

El rendimiento que se obtiene de acuerdo a la prueba jarras se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 3.9 Rendimiento de Potabilización**

Parámetro	Valor Inicial (Agua Cruda)	Valor Final (Agua Tratada)	Rendimiento
Fosfatos	0,94 mg/L	0,28 mg/L	70,21%
Alcalinidad	320mg/L	220 mg/L	31,25%
Coliformes Totales	550UFC/100ml	0 UFC/100ml	100%
Coliformes Fecales	84UFC/100ml	0 UFC/100ml	100%

Fuente: YANQUI, Cristian, R



En la tabla 3.9 podemos observar el porcentaje de eficiencia entre el agua cruda y el agua tratada, esto se puede verificar con la remoción de los contaminantes como son: fosfatos alcalinidad, coliformes totales, coliformes fecales.

### **3.5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Una vez realizada la caracterización del agua cruda se pudo determinar que existen parámetros que se encuentran fuera de Norma, datos expuestos en la tabla 2.2 y tabla 2.6, se determinó que la presencia de ciertos parámetros excede los límites permitidos, entre los cuales tenemos: alcalinidad el valor encontrado fue de 320 mg/l; el valor encontrado de los fosfatos es de 0,94 mg/l, de igual manera los análisis microbiológicos demostró contener coliformes totales en un valor de 550 UFC/100ml, y una cantidad de 84 UFC/100 ml correspondiente a coliformes fecales.

Tomando en cuenta los datos antes mencionados se optó por la necesidad de incorporar una planta de tratamiento de agua potable que consta de: un desarenador, que permite disminuir una cantidad considerable de sólidos suspendidos, que el agua viene acarreado en todo su recorrido, logrando así una mayor eficiencia en los demás procedimientos; floculación se lo realiza en un vertedero rectangular con el objetivo de obtener una mezcla homogénea para nuestro diseño se utilizó Policloruro de Aluminio (PAC), el cual actúa atrapando a las partículas que no hayan precipitado, formando flóculos de mayor tamaño logrando su precipitación por acción de la gravedad; después de realizar el proceso de floculación el agua tratada es conducida hacia un floculador, en donde se propicia una agitación lenta provocada por la disminución de la velocidad, que ayudara a la formación de los flóculos y a la sedimentación de los sólidos sedimentables que se hayan originado en este proceso.

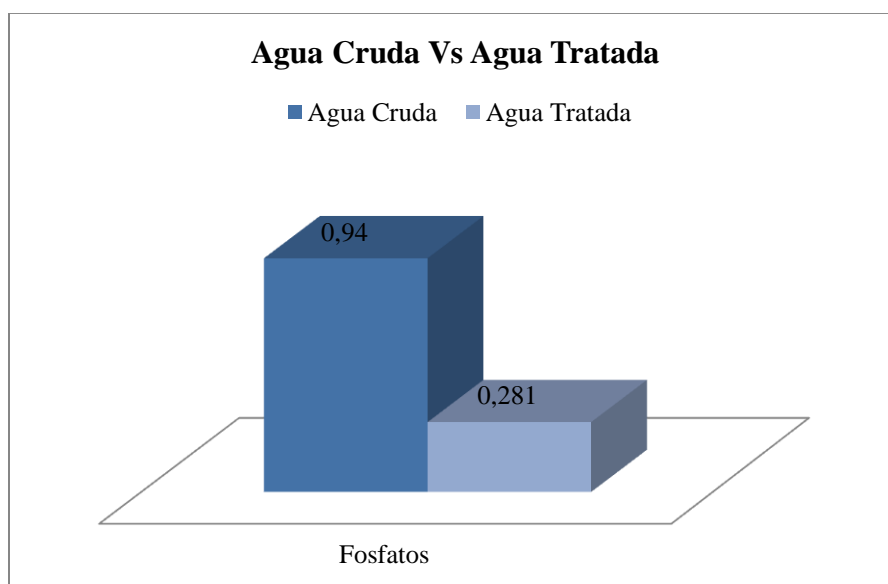
Una vez que el agua tratada haya salido del floculador es conducida hacia el intercambiador de cationes, donde se reducirá la cantidad de dureza provocada por la presencia de calcio y magnesio en el agua, ya que las resinas que se utilizan tienen una mayor afinidad por los iones antes mencionados.

La cloración es el proceso en donde se eliminara los microorganismos patógenos, en nuestro caso se eliminara los microorganismos totales y microorganismos fecales que se encuentran presentes en el agua.

La caracterización que se realizó al agua tratada, dio como resultado que tanto en los análisis físico-químicos cuyos valores se encuentran en la tabla 3.7 y los resultados de los análisis microbiológicos expresados en la tabla 3.8, se encuentran dentro de los límites establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 "Agua Potable. Requisitos"

El resultado final de los parámetros que se encontraron fuera de norma se detalla en las siguientes tablas:

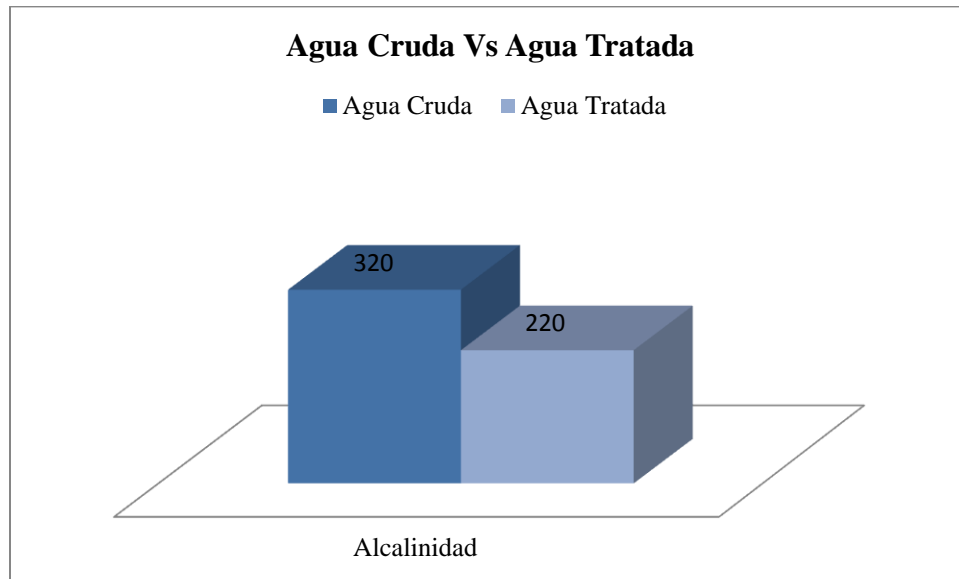
**Gráfico 3.4 Parámetro Fosfato, Comparación entre Agua Cruda y Agua Tratada**



**Fuente:** YANQUI, Cristian, R

Al observar el gráfico 3.4 podemos verificar que el diseño propuesto cumple con las expectativas ya que los fosfatos se encuentran dentro de los límites permitidos.

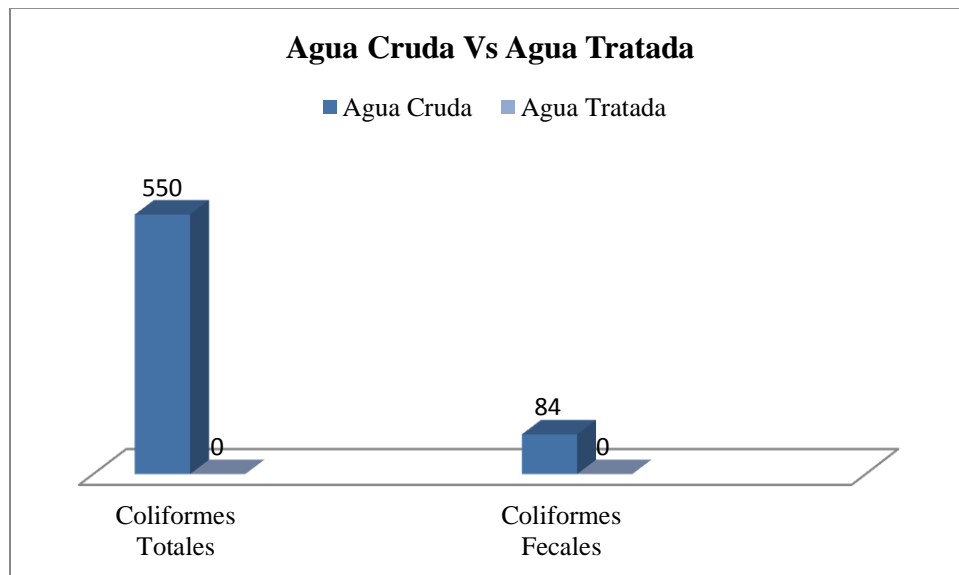
**Gráfico 3.5 Parámetro Alcalinidad, Comparación entre Agua Cruda y Agua Tratada**



**Fuente:** YANQUI, Cristian, R

Al analizar el gráfico 3.5 sobre la alcalinidad, podemos decir que el diseño que se propone es el adecuado ya que se logra mantener la alcalinidad dentro de los límites permisibles.

**Gráfico 3.6 Análisis Microbiológico, Comparación entre Agua Cruda y Agua Tratada**



**Fuente:** YANQUI, Cristian, R

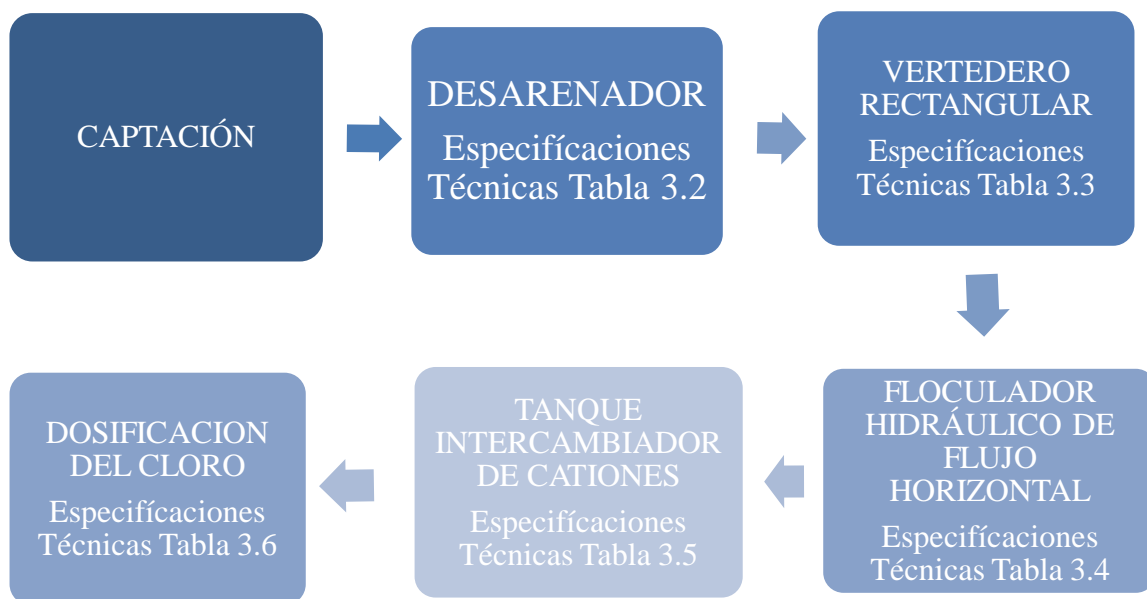
Al analizar el gráfico 3.6 podemos observar que existe ausencia de coliformes totales y coliformes fecales, esto quiere decir que la dosificación de cloro es la adecuada ya que se ha logrado eliminar por completo estos parámetros.

Se midió la cantidad de cloro residual el valor encontrado fue de 0,9 mg/l se considera como un valor aceptable ya que el límite permisible se encuentra entre 0,4 - 1,5 mg/l

Con los resultados finales de la caracterización del agua tratada, se comprueba que el diseño que se propone es eficiente, y cada uno de los procesos son complementarios entre sí para generar agua de calidad, que sea apto para el consumo humano ya que cumple con las condiciones que establece la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos”

### 3.6 PROPUESTA

Una vez que se realizaron las caracterizaciones Físico-Químicas y Microbiológicas del agua cruda, se plantea como diseño de la planta de potabilización de agua, la siguiente propuesta:



### 3.7 PRESUPUESTO

A continuación se detalla el presupuesto que se requiere para la implementación de la planta de tratamiento

**Tabla 3.10 Presupuesto para la Implementación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable**

<b>Costo de Equipos y Accesorios</b>					
<b>Cantidad</b>	<b>Equipo / Accesorios</b>	<b>Material</b>	<b>Volumen / Dimensiones</b>	<b>Costo Unitario (\$)</b>	<b>Costo Total (\$ Includo Mano de Obra</b>
6	Codos de 90°	PVC	3 pulg	0,90	5,40
1	Codo de 90°	PVC	1 pulg	0,80	0,80
30m	Tubería	PVC	3 pulg	4,00	40,00
5m	Tubería	PVC	1 pulg	22,00	44,00
3	T	PVC	3 pulg	1,00	3,00
9	Válvulas de bola	Acero inoxidable	3 pulg	24,00	215,00
1	Válvula de bola	Acero Inoxidable	1 pulg	14,00	14,00
1	Desarenador	Hormigón S. f <sup>o</sup> c = 210Kg/cm <sup>2</sup>	2,12 m <sup>3</sup>	259,36/m <sup>3</sup>	549,84
1	Vertedero Rectangular	Hormigón S. f <sup>o</sup> c = 210Kg/cm <sup>2</sup>	0,06 m <sup>3</sup>	259,36/m <sup>3</sup>	15,56
1	Bomba Dosificadora	-	-	1500,00/m <sup>3</sup>	1500,00
1	Floculador de Flujo Horizontal	Hormigón S. f <sup>o</sup> c = 210Kg/cm <sup>2</sup>	5,67 m <sup>3</sup>	259,36/m <sup>3</sup>	1470,57
2	Tanque Intercambiador de Cationes	Tanque Filtro Tipo Ferrocemento mas Cajón Recolector	10m <sup>3</sup>	2619,13/m <sup>3</sup>	5238,26

2		Resina catiónica fuertemente acida	5.38m <sup>3</sup>	3200/m <sup>3</sup>	34432,00
1	Tanque de Desinfección	Ferrocemento	40m <sup>3</sup>	10283,30	10283,30
1	Hipoclorador	-	-	100,00	100,00
1	Tanque de Salmuera	Hormigón S. f <sup>o</sup> c = 210Kg/cm <sup>2</sup>	1m <sup>3</sup>	259,36/m <sup>3</sup>	259,36
1	Tanque Lavado de la Resina	Hormigón S. f <sup>o</sup> c = 210Kg/cm <sup>2</sup>	1m <sup>3</sup>	259,36/m <sup>3</sup>	259,36
<b>TOTAL</b>					54429,45

Fuente: Departamento Técnico del GAD Municipio Colta

**Tabla 3.11 Costo total de la inversión**

<b>Costo Total de Inversión</b>	
<b>Detalle</b>	<b>Costo (\$)</b>
Costos de Instalación hidráulica	500,00
Costo Total Incluido Mano de Obra	54429,45
<b>TOTAL</b>	54929,45

Fuente: Departamento Técnico del GAD Municipio Colta

**Tabla 3.12 Costo de Operación por Día**

<b>Materiales</b>	<b>Dosis</b>	<b>Presentación</b>	<b>Costo Presentación(\$)</b>	<b>Costo total(\$)</b>
<b>Policloruro de Aluminio (PAC)</b>	4,32L/d	Tambor de 250L	211,69	3,65
<b>Cloruro de Sodio</b>	120Kg	Saco de 25Kg	4,30	20,64
<b>Cloro Liquido</b>	2Kg/d	Tambor de	10,20	0,34

		60kg		
			<b>TOTAL</b>	24,63

Fuente: YANQUI, Cristian, R.

**CAPÍTULO IV**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**



## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

Después de haber identificado el problema y diseñado el sistema de tratamiento de agua potable más adecuado, se puede concluir lo siguiente:

1. Se realizó la caracterización físico-química y microbiológica del agua de consumo de la Parroquia Columbe, se pudo evidenciar que existen parámetros fuera de los límites permitidos por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2011 “Agua Potable. Requisitos” entre los cuales tenemos: fosfatos 0,94mg/l, alcalinidad 320mg/l, coliformes totales 550 UFC/100ml, coliformes fecales 84 UFC/100ml.
2. Se determinó el sistema de tratamiento de agua potable más adecuado, en base a los análisis obtenidos y realizados en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, el tratamiento consta de un desarenador cuya longitud es de 1,80 m con una velocidad de sedimentación de 0,0298 m/s, por motivos de limpieza se dimensiono un desarenador de doble cámara con un ancho total de 1,20 m y una altura de 1 m, además consta de un vertedero rectangular (floculación con Policloruro de Aluminio) con una longitud de resalto de 0,52 m, la altura de la cresta es de 0,67 m, la longitud de salto de 0,25 m, y el tiempo de mezcla es de 0,46 s, para obtener un proceso de floculación eficiente se dimensiono un floculador de 8,07 m de longitud su altura es de 0,40 m, un ancho de 8 m, también se dimensiono un tanque de intercambio catiónico con una altura de 1,60 m y un diámetro de 2,73 m, por último la desinfección con hipoclorito de sodio se realizara con una dosificación de 1,5 mg/l en un tanque de 3 m de alto, 3,50 m de ancho y una base de 3 m.
3. Para la implementación del diseño que se propone, se requiere un presupuesto de \$54429,45 dólares, esta inversión es necesaria para obtener agua de calidad y se reflejara en mejores condiciones de salud y saneamiento.
4. Se realizó la caracterización físico - química y microbiológica del agua tratada, se pudo evidenciar que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites

permitidos por la norma, es decir que el diseño propuesto cumple con las condiciones para obtener agua de calidad.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda implementar el diseño propuesto para obtener agua de calidad, y mejorar la salud de los pobladores de la Parroquia de Columbe.
2. Para la construcción se debe seguir las especificaciones dadas en las tablas de resultados, con el fin de que la planta de tratamiento de agua funcione correctamente y no presente problemas durante el funcionamiento.
3. Se debe realizar periódicamente una limpieza de la fase de captación, para evitar la acumulación de materiales no deseados; de igual manera realizar un mantenimiento completo de la planta de tratamiento de agua para evitar daños en el mismo.
4. Los materiales como, la resina catiónica, el policloruro de aluminio, se deben almacenar en recipientes seguros, adecuados para evitar cualquier tipo de contaminación, y en lugares secos.
5. Se debe realizar una capacitación a la persona que esté a cargo de la planta indicándole como realizar las dosificaciones, y el funcionamiento de la planta.
6. Realizar periódicamente, caracterizaciones físico-químicas y microbiológicas del agua tratada, para controlar que la planta de tratamiento funcione adecuadamente.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**CENTRO REGIONAL DE AYUDA TÉCNICA A.I.D.**, Manual Sobre Pequeños Sistemas de Abastecimiento de Agua., México DF-México., 1998., Pp. 69.

**DIRECCIÓN DE INGENIERIA SANITARIA DE SALUD Y ASISTENCIA.**, Manual de Saneamiento: Agua Vivienda y Desechos., México DF-México., 1987., Pp. 54,55.

**HERNÁNDEZ, A.**, Depuración de Aguas Residuales., 3<sup>ra</sup> ed., Madrid-España Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos., 1994., Pp. 340-358

**ROMERO, J.**, Calidad del Agua., 3<sup>ra</sup> ed., Bogotá-Colombia., Escuela Colombiana de Ingeniería., 2009., Pp. 338 - 372.

**ROMERO, J.**, Purificación del Agua., 2<sup>da</sup> ed., Bogotá-Colombia., Escuela Colombiana de Ingeniería., 2006., Pp. 105 - 215.

**VILLEGAS, M.**, Purificación de Aguas., 2<sup>da</sup> ed., Bogotá-Colombia., Escuela Colombiana de Ingeniería., 2007., Pp. 83, 131-135.

## **BIBLIOGRAFÍA INTERNET**

### **AGUA POTABLE**

<http://ing.unne.edu.ar/dep/eol/fundamento/tema/T9.pdf>

2014-01-18

### **CARACTERIZACION DEL AGUA**

[http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing\\_sanitaria/Ingenieria\\_Sanitaria\\_A4\\_Capitulo\\_03\\_Caracteristicas\\_del\\_Agua\\_Potable.pdf](http://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf)

2014-01-18

### **DESARENADOR**

<http://www.itacanet.org/eso/agua/Seccion%206%20Tratamiento%20sw%20agua/Tratamientos%20preliminares.pdf>

2014-28-01

### **DOSIFICACIÓN DEL HIPOCLORITO DE SODIO**

[http://www.aquaquimi.com/Paginas/Trat\\_agua\\_pot/Desinfeccion%20agua/agua%20potable%20cloro.html](http://www.aquaquimi.com/Paginas/Trat_agua_pot/Desinfeccion%20agua/agua%20potable%20cloro.html)

2013-11-15

### **ECUADOR., INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION.,**

#### **NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108:2011**

<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1108:2011.pdf>

2013-11-15

### **INTERCAMBIADOR IÓNICO**

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/871/1/982pdf>

2014-18-03

## **MEZCLA RÁPIDA**

<http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/111/3/CDAM0000014-3.pdf>.

2014-20-01

## **PROCESOS DE POTABILIZACIÓN**

[http://www.aguasdelnortesalta.com.ar/sistema\\_agua.php](http://www.aguasdelnortesalta.com.ar/sistema_agua.php)

2014-20-01

## **PRUEBA DE JARRAS**

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/09234/09234.pdf>.

2014-28-03

## ANEXO I

### NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN1108:2011 AGUA POTABLE

#### 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
<b>Características físicas</b>		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
pH	---	6,5 – 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/l	1 000
<b>Inorgánicos</b>		
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Sulfatos, SO <sub>4</sub>	mg/l	200
Cloruros, Cl	mg/l	250
Nitratos, NO <sub>3</sub>	mg/l	50
Nitritos, NO <sub>2</sub>	mg/l	0,2
Dureza total, CaCO <sub>3</sub>	mg/l	300
Arsénico, As	mg/l	0,01
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cromo, Cr	mg/l	0,05
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cianuros, CN	mg/l	0,07
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Selenio, Se	mg/l	0,01

Cloro libre residual	mg/l	0,3 – 1,5 <sup>1)</sup>
Aluminio	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH <sub>3</sub> )	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cobalto, Co	mg/l	0,20
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Fósforo (P-PO <sub>4</sub> )	mg/l	0,1
Litio, Li	mg/l	0,2
Molibdeno, Mo	mg/l	0,07
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Plata, Ag	µg/l	0,13
Potasio, K	mg/l	20
Sodio, Na	mg/l	200
Vanadio, V	µg/l	6
Zinc, Zn	mg/l	3
Flúor, F	mg/l	1,5
Radiación total α <sup>*</sup>	Bg/l	0,1
Radiación total β <sup>**</sup>	Bg/l	1,0
<p><sup>1)</sup> Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.</p> <p>* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>210</sup>Po, <sup>224</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>234</sup>U, <sup>238</sup>U, <sup>239</sup>Pu.</p> <p>** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: <sup>60</sup>Co, <sup>89</sup>Sr, <sup>90</sup>Sr, <sup>129</sup>I, <sup>131</sup>I, <sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs, <sup>210</sup>Pb, <sup>228</sup>Ra.</p>		

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

**Requisitos microbiológicos**

	<b>Máximo</b>
Coliformes totales (1) NMP/100 ml	< 2*
Coliformes fecales NMP/100 ml	< 2*
Criptosporidium número de quistes//100 litros	Ausencia
Giardia/Lambliia 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.



## ANEXO II

### FICHA TÉCNICA POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)

	<b>FICHA TÉCNICA</b> <b>POLICLORURO DE ALUMINIO - PAC</b> <b>QUIMPAC</b>	<b>FTP</b> <b>PAG. 1 DE 1</b> <b>VERSION: 1</b>
---	--	---

#### 1. PROPIEDADES

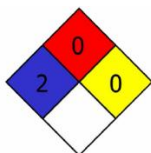
FÓRMULA:  $Al_n(OH)_m Cl_{3n-m}$

SINÓNIMOS: PAC, QUIMPAC

PESO MOLECULAR: 219 gramos/mol

#### 2. REGULACIONES

RIESGO ASOCIADO: Irritante, Corrosivo



#### 3. USOS PRINCIPALES

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

#### 4. PROPIEDADES TÍPICAS

Apariencia

Sólido Amarillo

#### 5. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

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

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

El producto se comercializa en bolsas de 25 Kg.

#### 6. PRECAUCIÓN

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

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

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

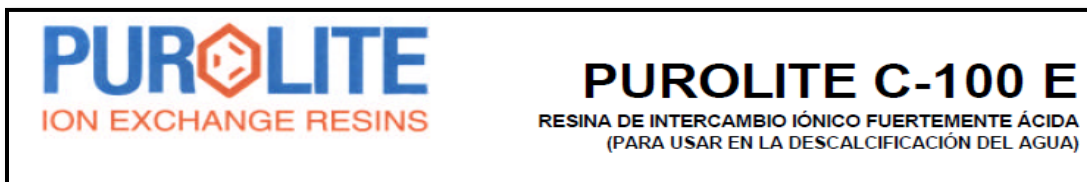
En caso de inhalación salir del área y buscar un área con aire fresco.

En caso de paro respiratorio se debe suministrar oxígeno. Obtener ayuda médica

pH (1% Sln)	3,5 – 5	inmediatamente para todos los casos.
Basicidad %	75 – 90	En caso de derrame, recoja el residuo con precaución y lave la zona contaminada con agua.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	30±1	
Insolubles %	Máx. 5	

## ANEXO III

### FICHA TÉCNICA RESINA CATIÓNICA FUERTEMENTE ÁCIDA



### HOJA TÉCNICA

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

**PUROLITE C-100E** es una resina catiónica de poliestirenosulfonado tipo gel, de elevada pureza, diseñada especialmente para el tratamiento de alimentos, bebidas, aguas potables, y agua empleada en la manipulación de alimentos.

**C 100 E** cumple con la normativa de la **U.S Food and Drug Administration** sección 21, párrafo 173.25 sobre el empleo de resinas en el tratamiento de alimentos para el consumo humano.

**C 100 E** esta inscrita en el **registro General Sanitario de Alimentos del Ministerio de Sanidad y Consumo**, con el Nº 31.01108/B-11046, para el tratamiento de aguas potables.

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estructura del polímero	poliestireno reticulado con DVB
Forma física y aspecto	perlas esféricas transparentes
Grupo funcional	poliestirenosulfonado
Forma de suministro	Na <sup>+</sup>
Densidad aparente (aprox)	800-840 g/l (50-52,5 lb/ft <sup>3</sup> )
Tamaño de malla, U.S. estándar Mesh(humedo)	16-50
Rango tamaño de la partícula	1,2 mm < 5 % - 0,3 mm < 1 %
Retención húmeda, forma Na <sup>+</sup>	46-50 %
Hinchamiento, Ca <sup>2+</sup> → Na <sup>+</sup> (max)	+8 %
Densidad forma Na <sup>+</sup> húmeda (min)	1,9 eq/l
Capacidad total, forma Na <sup>+</sup> (húmeda)	140°C (285°F)
Rango estabilidad pH	0 - 14
Rango operativo pH, ciclo Na <sup>+</sup>	6 - 10

**CONDICIONES DE TRABAJO ESTÁNDAR****(DESCALCIFICACIÓN EN CO - CORRIENTE)**

<b>OPERACIÓN</b>	<b>CAUDAL</b>	<b>DISOLUCIÓN</b>	<b>MINUTOS</b>	<b>CANTIDAD</b>
Servicio	8 – 40 BV/h	Agua entrada		
Contralavado	7 – 12 m/h	Agua entrada	5 – 20	1,5 – 4 BV
Regeneración	2 – 7 BV/h	8 – 20% NaCl	15 – 60	60 – 320 g/l
Lavado (lento)	2 – 7 BV/h	Agua entrada	30 (aprox.)	2 – 4 BV
Lavado (rápido)	8 – 40 BV/h	Agua entrada		3 -10 BV

1BV = 1 Volumen/Volumen resina

## ANEXO IV

### PROCEDIMIENTO PARA DOSIFICAR EL POLICLORURO DE ALUMINIO

#### DOSIFICACION DE POLICLORURO DE ALUMINIO

La dosificación del policloruro de aluminio se realizara como se detalla a continuación:

1. Pesar el Policloruro de aluminio.
2. Aforar el caudal de agua que ingresa al tanque de solución.
3. Prepara la solución de Policloruro de aluminio al 5%
4. Calibrar la bomba dosificadora
5. Bombera la solución de Policloruro de aluminio hasta el punto de mezcla

## ANEXO V

### PROCEDIMIENTO PARA ACTIVAR Y REGENERAR LA RESINA CATIONICA DE ÁCIDO FUERTE

#### PROCEDIMIENTO PARA ACTIVAR LA RESINA CATIONICA DE ÁCIDO FUERTE AL 5%

La resina cationica se debe activar mediante el siguiente procedimiento:

1. Pesar 120Kg de cloruro de sodio.
2. Aforar el caudal de agua que ingresa al tanque de salmuera.
3. Adicionar el cloruro de sodio en el tanque de salmuera.
- 4.
5. Agitar la mezcla hasta formar una solución de cloruro de sodio (salmuera)

La regeneración de la resina se realizar mediante el siguiente procedimiento:

1. Aplicar la solución de salmuera a la resina, el tiempo de contacto de la solución y la resina puede ser de 15 a 20min
2. Lavar la resina con abundante agua, durante un periodo de 20 a 30 min
3. La adición de la solución de salmuera y el agua de lavado debe ser en contracorriente, es decir, desde la parte inferior de tanque, este procedimiento nos garantizara un mejor rendimiento de la resina.

## ANEXO VI

### PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DEL CLORO

#### DOSIFICACIÓN DE CLORO

La dosificación del hipoclorito de sodio es de 1.5mg/l, se realizara mediante un hipoclorador por goteo, se ubicara en la parte superior del tanque de almacenamiento con su respectiva protección.

La instalación del hipoclorador se realizara tomando en cuenta los siguientes pasos:

1. Conectar la entrada del dosificador a la salida del tanque de almacenamiento del desinfectante.
2. Conectar la tubería de alimentación desde el dosificador al punto de aplicación.
3. Asegurarse que se encuentre cerrado el control de dosificación. Abrir la llave del tanque de almacenamiento del desinfectante para llenar el dosificador.
4. Una vez que se encuentre lleno, girar el dispositivo de control hasta obtener el caudal requerido. Se puede utilizar un recipiente conocido y un cronometro hasta obtener la cantidad deseada.

## ANEXO VII

### RESULTADO PROMEDIO DEL ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DEL AGUA CRUDA

## ESPOCH

### LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998200 ext 332      Riobamba - Ecuador

#### INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por: Tesis Sr. Cristian Yanqui

Fecha de análisis: 28 de octubre del 2013

Tipo de muestra: Agua superficial proveniente de escurrimientos

Localidad: Columbe

**TRABAJO DE TESIS**

Código: LAT 209-13

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 5	3.85
pH	Unid	6.5 - 8.5	7.33
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	466
Turbiedad	UNT	1	0.6
Cloruros	mg/L	250	0.3
Dureza	mg/L	200	276.0
Calcio	mg/L	70	43.2
Magnesio	mg/L	30 - 50	40.8
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	320.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	326.4
Sulfatos	mg/L	200	12.5
Amonios	mg/L	< 0.50	0.407
Nitritos	mg/L	0.01	0.03
Nitratos	mg/L	< 40	1.8
Hierro	mg/L	0.30	0.308
Fluoruros	mg/L	> 1.5	0.8
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.944
Sólidos Totales	mg/L	1000	576.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	288.9

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de alcalinidad, nitritos y fosfatos fuera de norma

Atentamente,

  
Dra. Gina Álvarez R. ESPOCH  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr, estudiante bajo la direccion del responsable del laboratorio. El analisis realizado no tiene costo para el estudiante. El informe afecta solo a la muestra analizada.



## ANEXO VIII

### RESULTADO DEL ANALISIS MICROBIOLÓGICO DEL DIA 1



Contáctanos: 032 942-022 ó 0984648617 – 032 360-260  
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes  
Riobamba – Ecuador

#### EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS

CÓDIGO: 474-2013

<b>CLIENTE:</b> Sr. Cristian Yanqui
<b>TIPO DE MUESTRA:</b> Agua de la vertiente
<b>FECHA DE MUESTREO:</b> 2013-11-08
<b>FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:</b> 2013-11-08

DETERMINACIONES	MÉTODO USADO	VALOR ENCONTRADO
<i>Coliformes Totales UFC/100 ml</i>	Placa Petrifilm™	550
<i>Coliformes Fecales UFC/100 ml</i>	Placa Petrifilm™	84

#### OBSERVACIONES:

**FECHA DE ANALISIS:** 2013-11-08

**FECHA DE ENTREGA:** 2013-11-11

#### RESPONSABLES:

Dra. Gina Álvarez R.

Dra. Fabiola Villa

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

\*La muestra es receptada en el laboratorio.

## ANEXO IX

### RESULTADO DE LOS ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DEL AGUA TRATADA

## ESPOCH

### LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998200 ext 332      Riobamba - Ecuador

#### INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS

Solicitado por:      Tesista Sr. Cristian Yanqui

Fecha de análisis:      10 de diciembre del 2013

Tipo de muestra:      Agua superficial proveniente de escurrimientos

Localidad:      Columbe

**TRABAJO DE TESIS**

Código: LAT 209B-13

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 5	2.00
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.87
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	721
Turbiedad	UNT	1	0.1
Cloruros	mg/L	250	21.3
Dureza	mg/L	200	160.0
Calcio	mg/L	70	22.4
Magnesio	mg/L	30 - 50	25.3
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	220.0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	224.4
Sulfatos	mg/L	200	10.1
Amonios	mg/L	< 0.50	0.061
Nitritos	mg/L	0.01	0.01
Nitratos	mg/L	< 40	5.2
Hierro	mg/L	0.30	0.249
Fluoruros	mg/L	> 1.5	> 0.01
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.281
Sólidos Totales	mg/L	1000	700.0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	351.0
Cloro Residual	mg/L	0.4-1.5	0.9

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones:      Agua dentro de los valores de norma

Atentamente,



Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



Nota: El análisis ha sido realizado por el Sr, estudiante bajo la direccion del responsable del laboratorio.  
El analisis realizado no tiene costo para el estudiante. El informe afecta solo a la muestra analizada.

## ANEXO X

### RESULTADO DEL ANALISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA TRATADA



Contáctanos: 0993387300 - 032 942-022 ó 0984648617 – 032 360-260  
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes  
Riobamba – Ecuador

#### EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA

CÓDIGO: 530-2013

<b>CLIENTE:</b> Sr. Cristian Yanqui			
<b>DIRECCION:</b> Calpi		<b>TELEFONO:</b> 0998956230	
<b>TIPO DE MUESTRA:</b> Agua de vertiente de la parroquia Columbe.			
<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 2013-12-10			
<b>FECHA DE MUESTREO:</b> 2013-12-11			
DETERMINACIONES	METODO USADO	*VALOR REFERENCIAL	VALOR ENCONTRADO
Coliformes Totales UFC/100ml	Filtración por membrana	< 2	Ausencia
Coliformes Fecales UFC/100ml	Filtración por membrana	< 2	Ausencia
<b>OBSERVACIONES:</b> *Valores referenciales tomados de la NTE INEN 1108:2006			
<b>FECHA DE ANALISIS:</b> 2013-12-10			
<b>FECHA DE ENTREGA:</b> 2013-12-12			
<b>RESPONSABLES:</b>			
			
Dra. Gina Álvarez R.		Dra. Fabiola Villa	

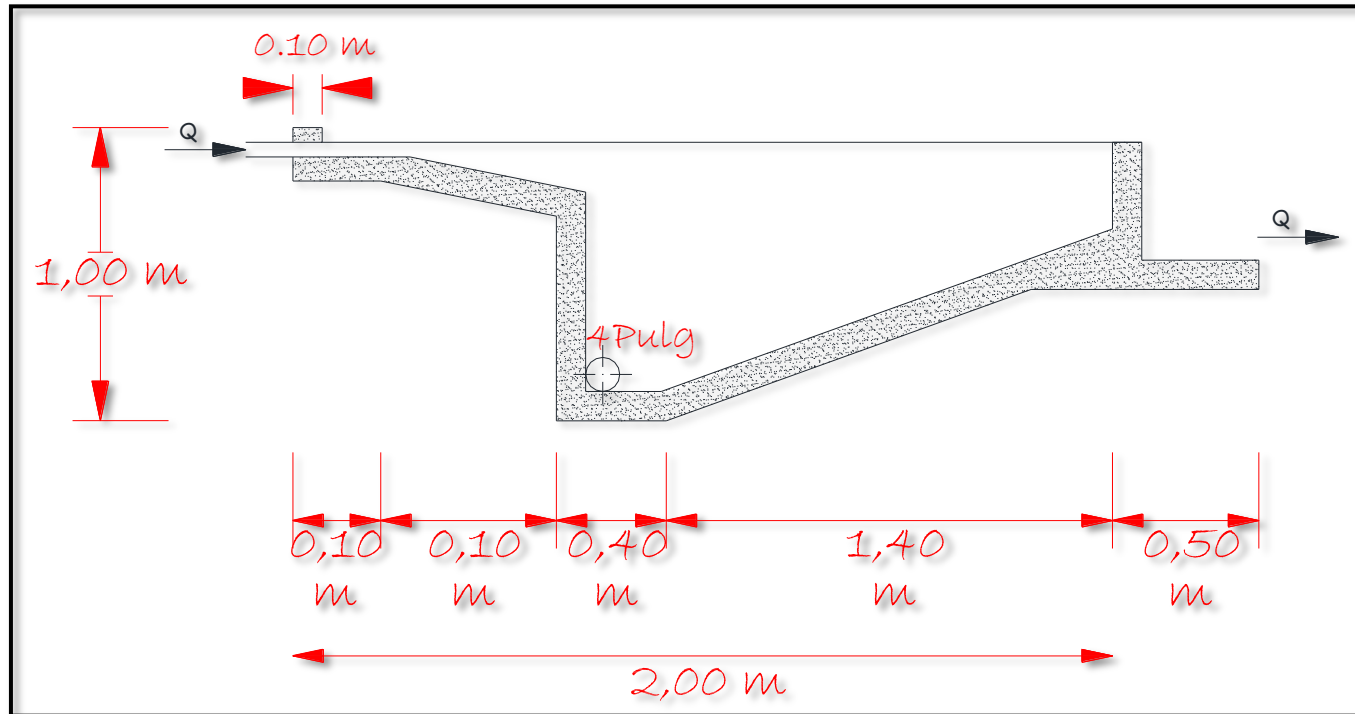
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

\*La muestra es receptada en el laboratorio.

ANEXO XI

DESARENADOR VISTA FRONTAL

a)

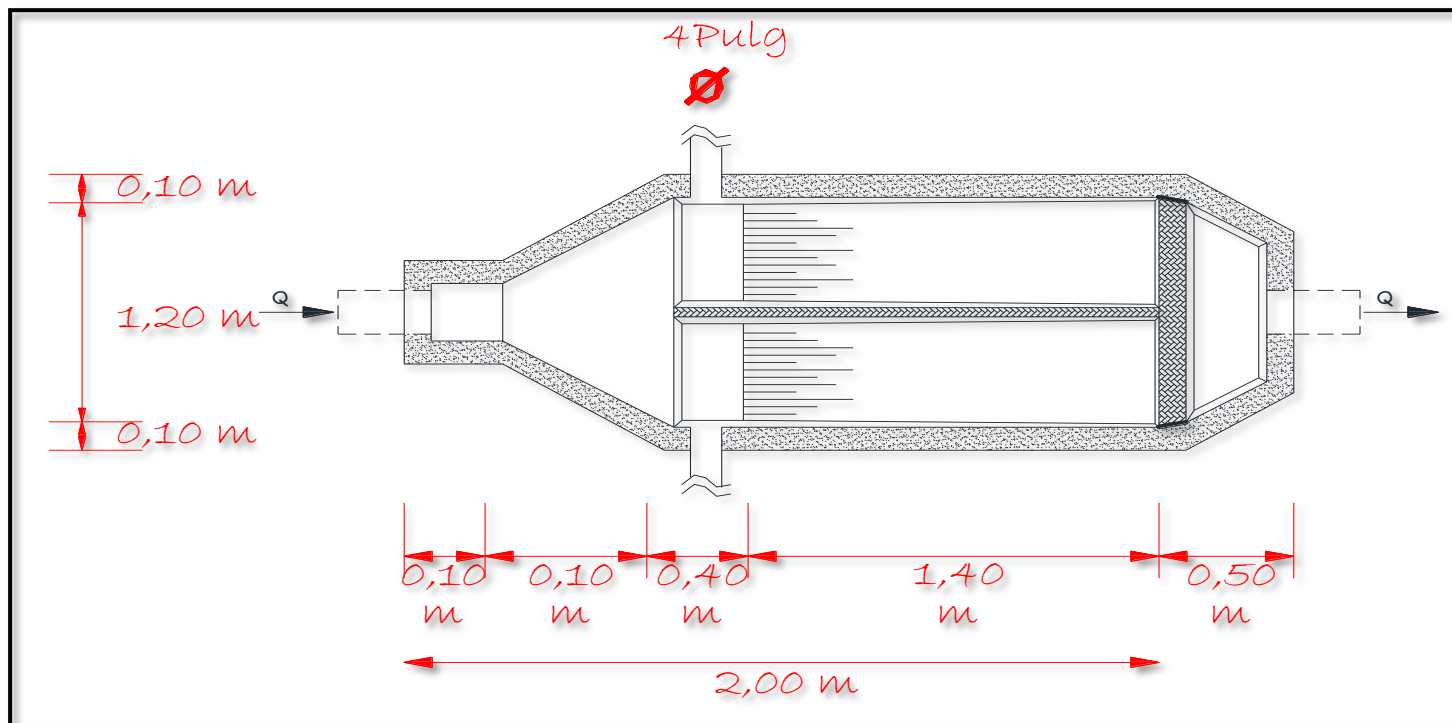


NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	DESARENADOR		
a) Vista Frontal (Corte)	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA  CRISTIAN RAMÓN YANQUI USHIÑA	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			1		19/05/14

ANEXO XII

DESARENADOR VISTA PLANTA

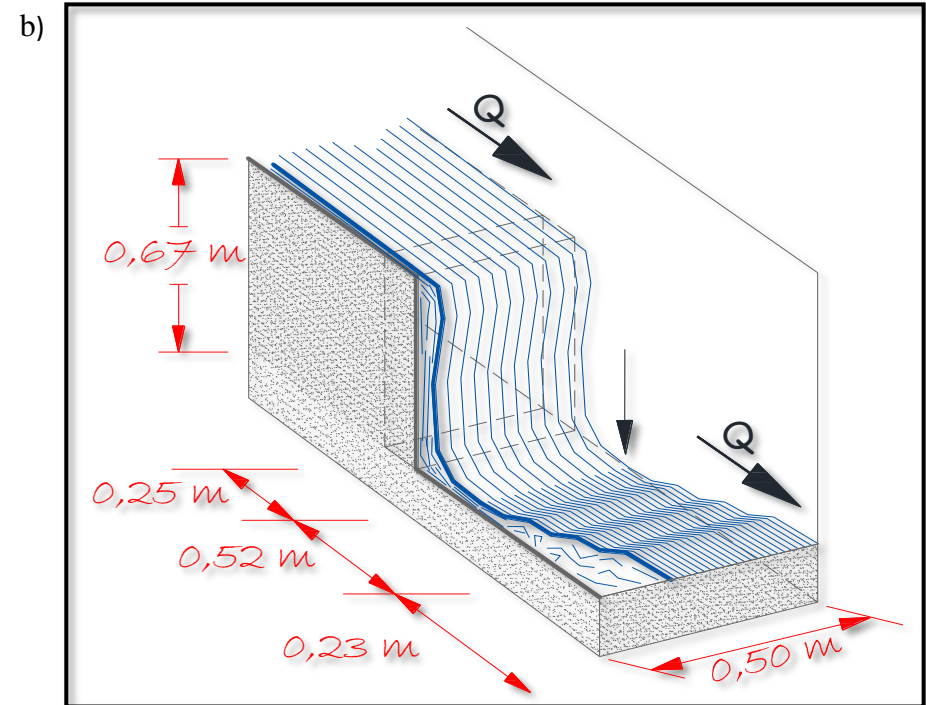
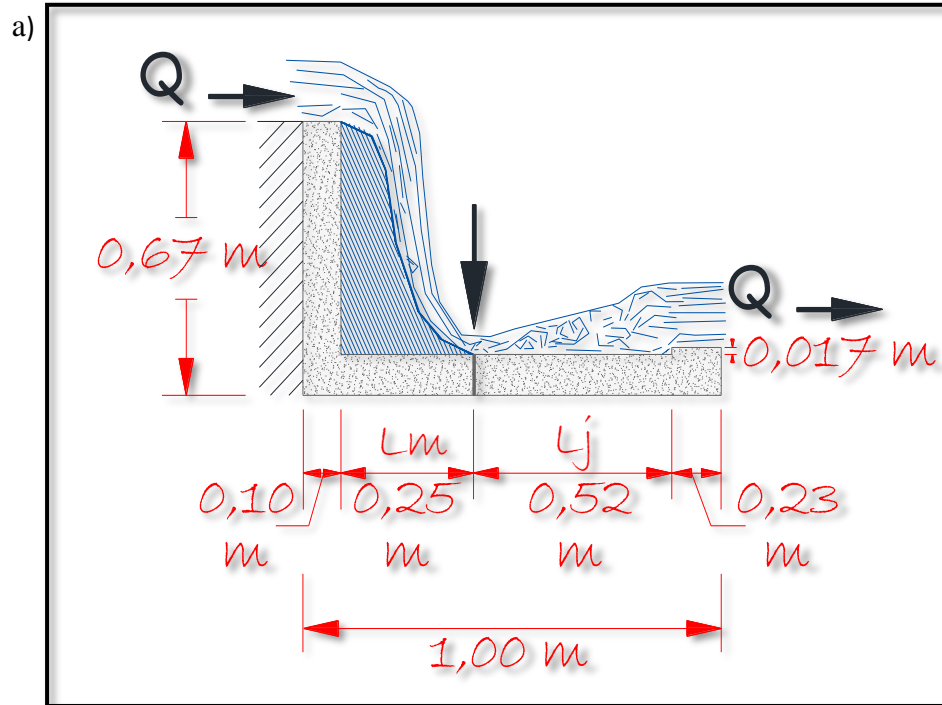
a)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	DESARENADOR		
a) Vista Planta	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA  CRISTIAN RAMÓN YANQUI USHIÑA	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			2		19/05/14

### ANEXO XIII

### VERTEDERO RECTANGULAR



#### NOTAS

- a) Vista Frontal (Corte)  
b) Vista Lateral

#### CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

- Certificado     Por Eliminar  
 Aprobado     Por Aprobar  
 Por Calificar     Para Información

#### ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE ING. QUIMICA

CRISTIAN RAMÓN  
YANQUI USHIÑA

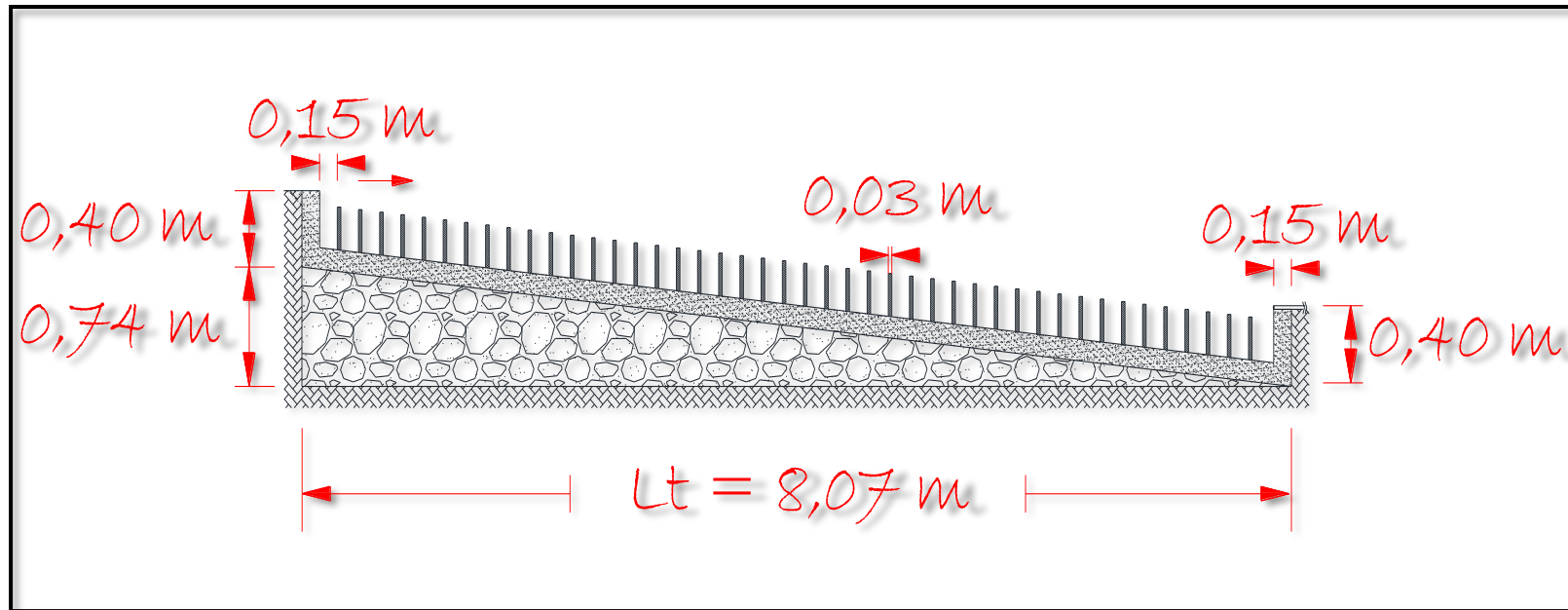
#### VERTEDERO RECTANGULAR

Lámina	Escala	Fecha
3		19/05/14

ANEXO XIV

FLOCULADOR VISTA FRONTAL

a)

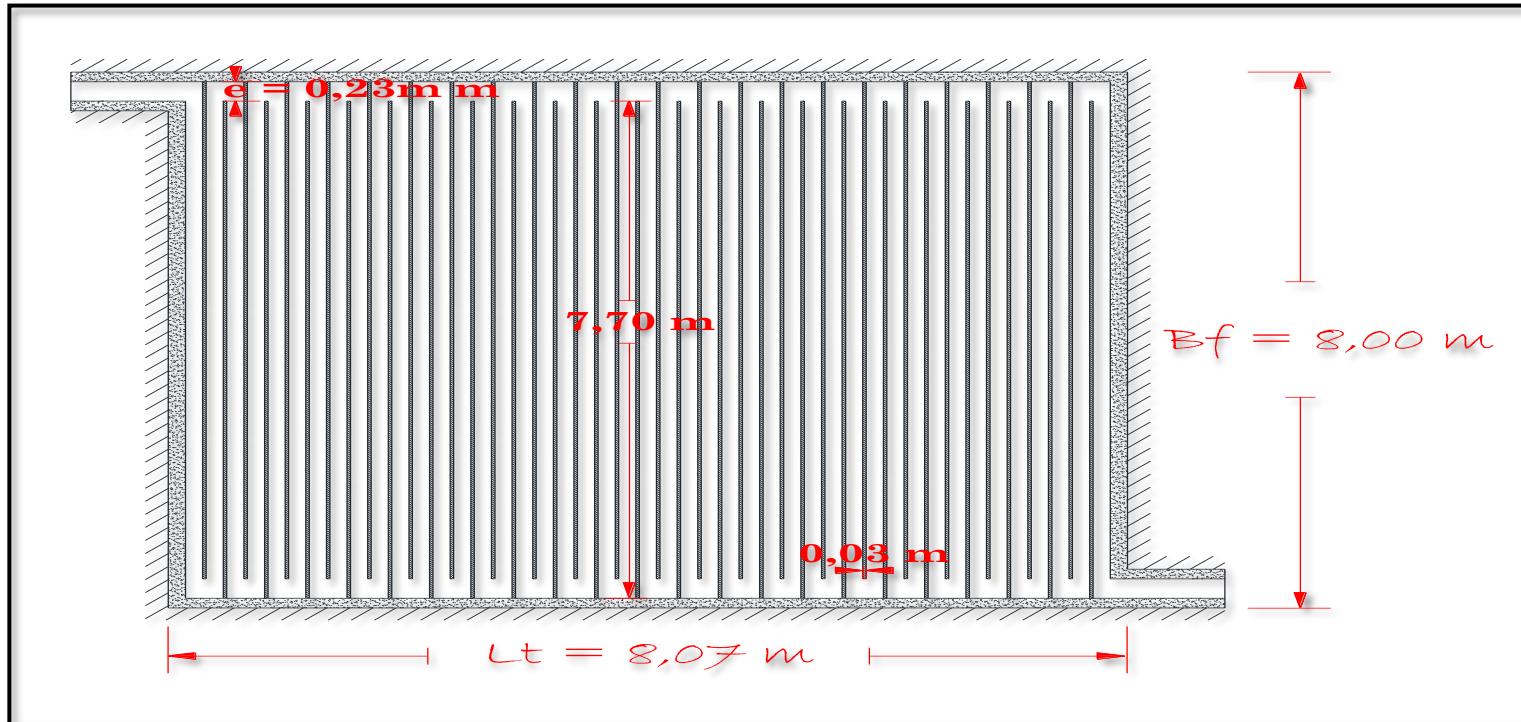


NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	FLOCULADOR		
a) Vista Frontal (Corte)	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA  CRISTIAN RAMÓN YANQUI USHIÑA	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			4		19/05/14

ANEXO XV

FLOCULADOR VISTA PLANTA

a)



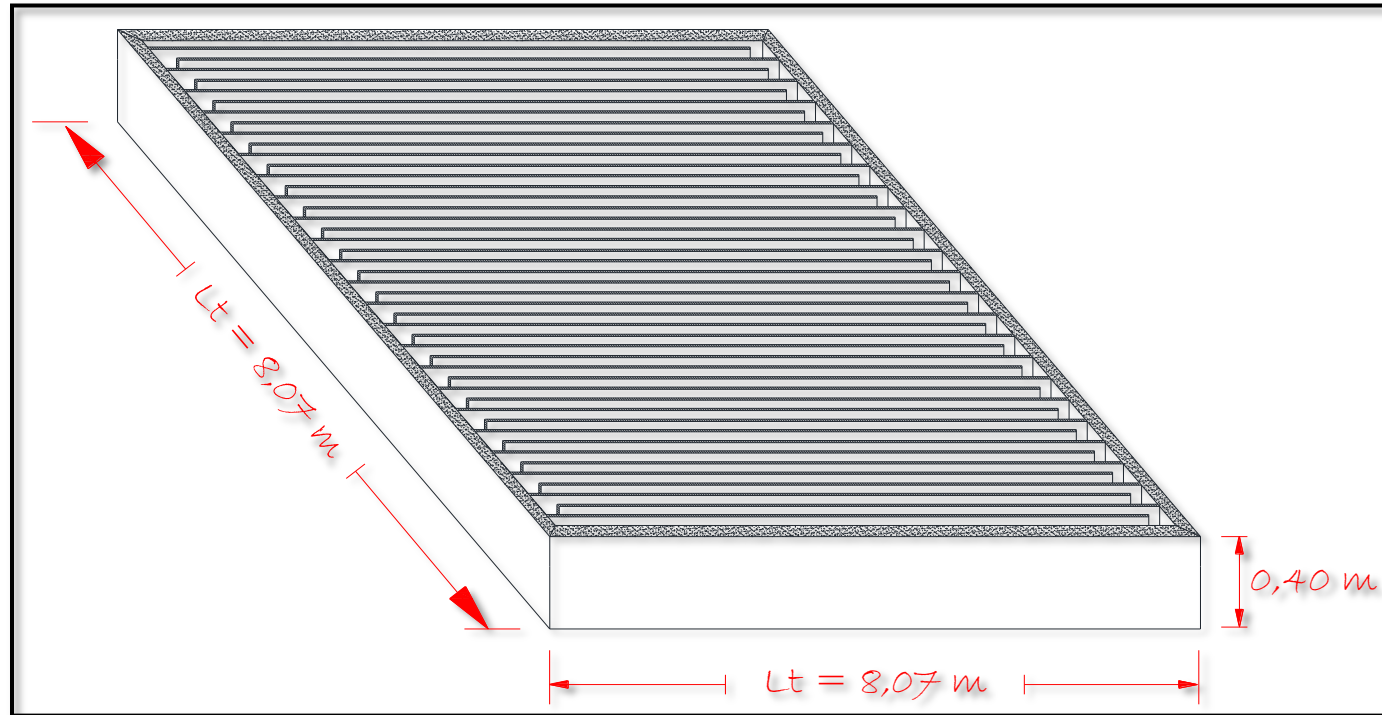
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	FLOCULADOR		
a) Vista Planta	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA  CRISTIAN RAMÓN YANQUI USHIÑA	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			5		19/05/14



ANEXO XVI

FLOCULADOR VISTA LATERAL

a)

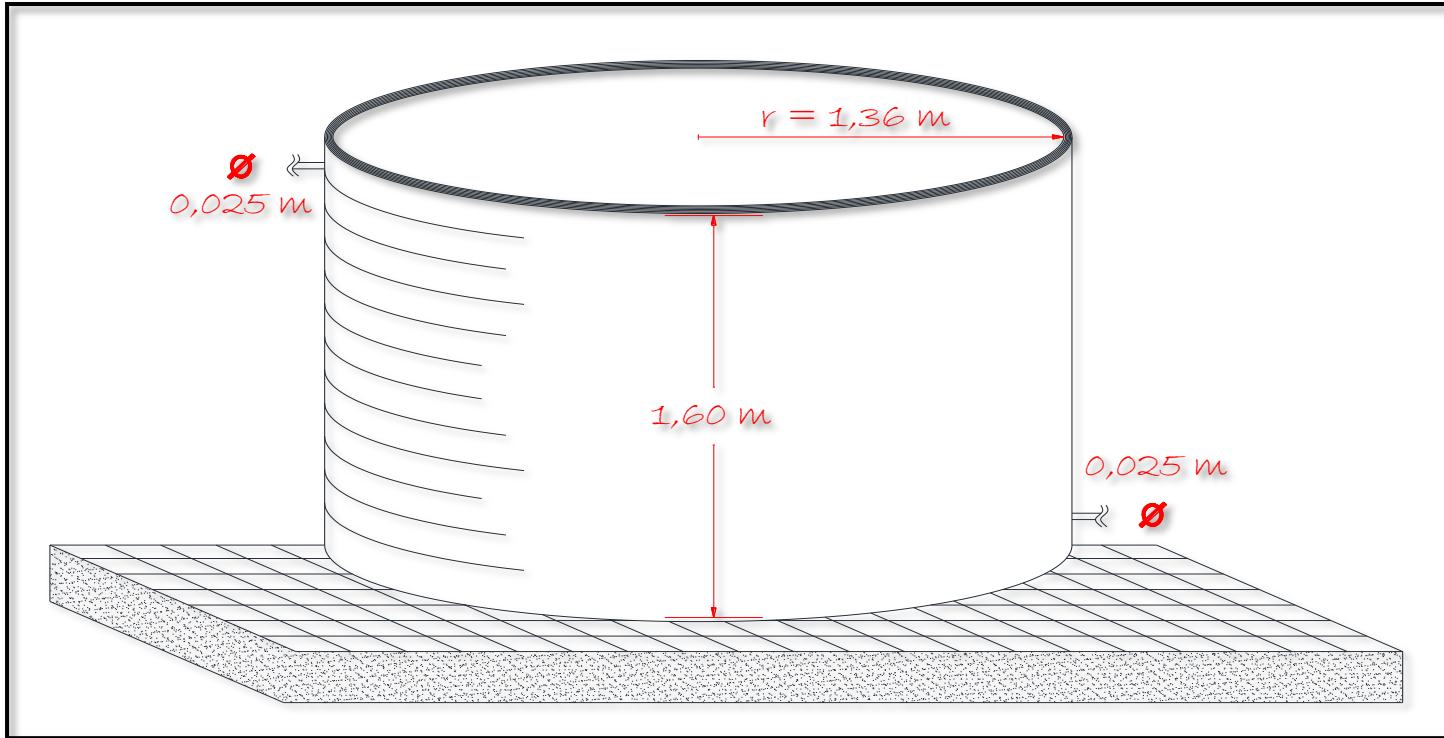


NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	FLOCULADOR		
a) Vista Lateral	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA  CRISTIAN RAMÓN YANQUI USHIÑA	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			6		19/05/14

ANEXO XVII

TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES VISTA FRONTAL

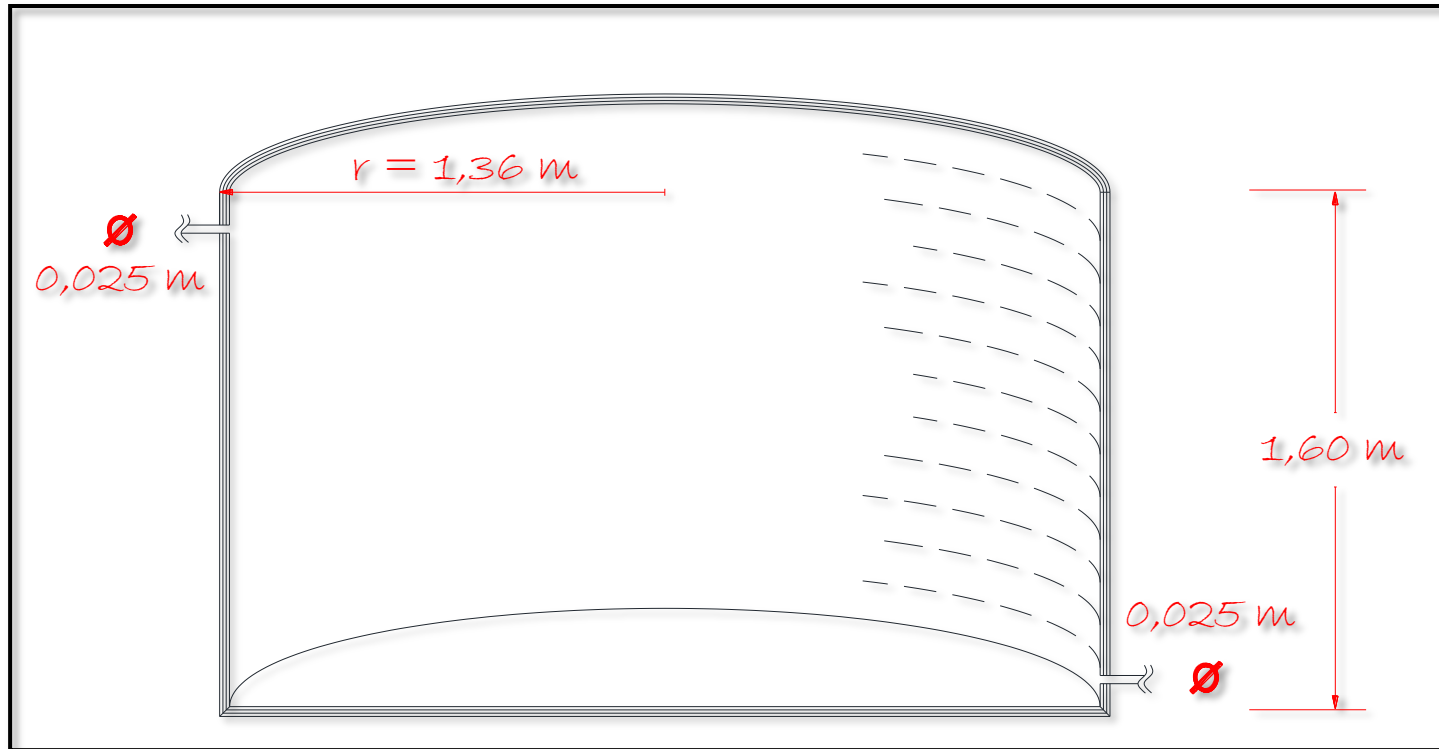
a)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES		
a) Vista Frontal	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA  CRISTIAN RAMÓN YANQUI USHIÑA	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			7		19/05/14

**ANEXO XVIII**  
**TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES VISTA FRONTAL CORTE**

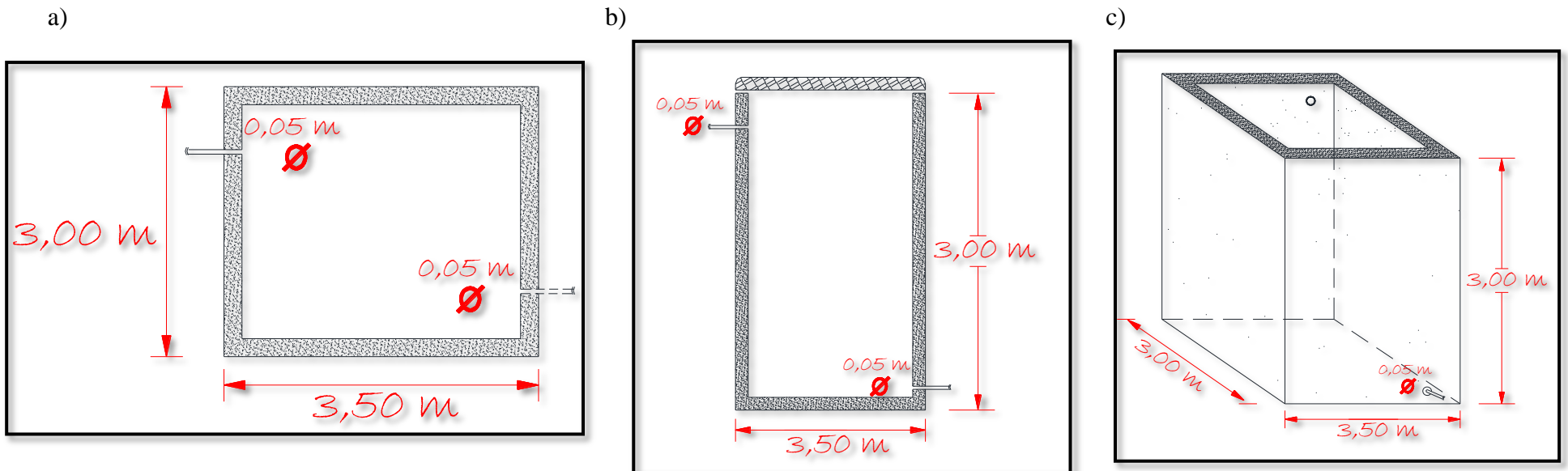
a)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES		
a) Vista Frontal (Corte)	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA			
			<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			8		19/05/14

## ANEXO XIX

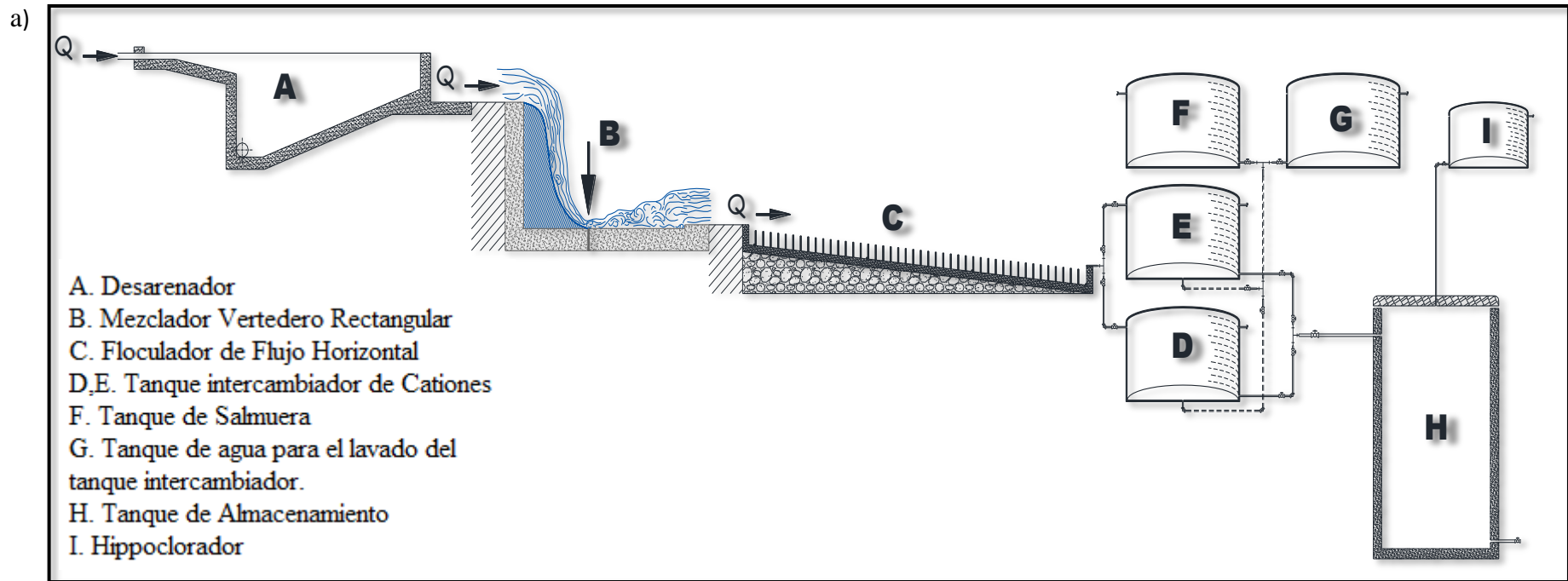
### TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y DESINFECCIÓN



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y DESINFECCIÓN		
a) Vista Planta	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA  CRISTIAN RAMÓN YANQUI USHIÑA	TANQUE DE ALMACENAMIENTO Y DESINFECCIÓN		
b) Vista Frontal (Corte)			<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
c) Vista Lateral			9		19/05/14

ANEXO XX

PLANTA DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PLANTA DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA		
a) Vista Lateral (Corte)	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUIMICA  CRISTIAN RAMÓN YANQUI USHIÑA			
			<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>
			10		19/05/14

