



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

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN A PARTIR  
DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, PARA LA COMUNIDAD LANGOS  
SAN ALFONSO DE LA PARROQUIA SAN ANDRÉS.”**

**TESIS DE GRADO**  
**Previo a la obtención del Título de:**  
**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: JUAN CARLOS HIDALGO HUILCA**  
**TUTOR: ING. HANNÍBAL BRITO M.PhD.**  
**ING. HUGO CALDERÓN**

**Riobamba – Ecuador**

**2015**

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

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación “**DISEÑO DE UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN A PARTIR DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, PARA LA COMUNIDAD LANGOS SAN ALFONSO DE LA PARROQUIA SAN ANDRÉS**”, de responsabilidad del señor Juan Carlos Hidalgo Huilca ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dra. Nancy Veloz <b>DECANA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS</b>	.....	.....
Dr. Marcelo Ramos <b>DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>	.....	.....
Ing. Hanníbal Brito M.PhD. <b>DIRECTOR DE TESIS</b>	.....	.....
Ing. Hugo Calderón <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	.....	.....
<b>COORDINADOR SISBIB ESPOCH</b>	.....	.....
<b>NOTA DE TESIS</b>	.....	

## **AGRADECIMIENTO**

Al pasar el tiempo, la vida nos presenta en su transcurso situaciones en las que conocemos personas, amigos y mucho más, las cuales son parte inolvidable en el rumbo de nuestras historias.

Al terminar una etapa de mi vida académica agradezco mucho a mi familia por apoyarme en aquellas situaciones que con su apoyo, consejo y palabras de aliento me han dado la fortaleza de salir ante toda dificultad y no darme por vencido.

Doy un agradecimiento muy especial al Ing. Hanníbal Brito como director de tesis y al Ing. Hugo Calderón como asesor de tesis, ya que gracias a su apoyo, conocimientos y consejos ha sido posible la culminación de este trabajo de titulación. Así también al Ing. José Quevedo y al Ing. Luis Aucancela que gracias a su apertura en el GADPCH tuve una gran ayuda en el proceso de elaboración de este trabajo de titulación.

Agradezco a las demás personas que han podido inculcar todos los conocimientos necesarios para poder llegar hasta este momento tan importante de mi vida el obtener mi profesión que con mucho orgullo la he llevado desde siempre en mi corazón INGENIERÍA QUÍMICA, desde el momento en que di mi primer paso en esta institución tan prestigiosa.

**Juan Carlos**

## **DEDICATORIA**

Dedico mi trabajo de titulación esencialmente a Dios por haberme dado la fortuna de ayudarme a tomar las mejores decisiones de mi vida.

Agradezco a mi familia mi madrecita María Estela Huilca y mi hermano Darío Javier Hidalgo son las personas más especiales, alegres y amorosas que siempre han estado en esos momentos de felicidad, tristeza y victoria; es por eso que todo lo que hago es para mi familia a las cuales respeto y admiro mucho ya que con su esmero y sacrificio han hecho posible que hoy culmine uno de los logros académicos y personales de mi vida.

Así también agradezco a mi padre Juan Hidalgo, sé que ha velado por mi desde el lugar que se encuentre.....Dios lo tenga en su gloria.

**Juan Carlos**

“Yo, JUAN CARLOS HIDALGO HUILCA, soy responsable de las ideas expuestas y propuestas en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”.

**JUAN CARLOS HIDALGO HUILCA.**

## TABLA DE ÍNDICE DE ABREVIATURAS.

$h_a =$	Altura de la lámina de agua. (m)
$h =$	Altura del resalto en el canal parshall. (m)
$W =$	Ancho del cuello del canal parshall. (m)
$B =$	Ancho del floculador. (m)
$A_s =$	Área de salida de los procesos. (m <sup>2</sup> )
$Q_e =$	Caudal de entrada al floculador. (m <sup>3</sup> /s)
$Q =$	Caudal. (m <sup>3</sup> /s)
CEPIS =	Centro Panamericano De Ingeniería Sanitaria Y Ciencias Del Ambiente.
$X =$	Elevación de la cresta en el canal parshall. (m)
$E_{1,2,3,4} =$	Energía en la sección del canal parshall correspondiente. (1, 2, 3,4). (Julio)
$G =$	Gradiente de velocidad. (s <sup>-1</sup> )
$l =$	Lado de un tanque. (m)
$L =$	Longitud de resalto. (m)
$L_r =$	Longitud recorrida del agua en el floculador. (m)
$H_b/H_a =$	máxima sumergencia.
$NC =$	Número de canales. (m/s)
$F_{1,2,3,4} =$	Número de Froude.
OPS =	Organización Panamericana De La Salud.
$h_{pv} =$	Perdidas en las vueltas del floculador. (m)
$h_{pc} =$	Perdidas en los canales del floculador. (m)
$h_{pt} =$	Pérdidas totales del floculador. (m)
$\Delta h =$	Pérdidas totales. (m)
$\gamma =$	Peso específico del agua. (N/m <sup>3</sup> )
PCA =	Policloruro de aluminio.
$T_r =$	Tiempo de retención. (s)
$t_{\bar{m}} =$	Tiempo medio de mezcla. (s)
$t =$	Tiempo. (s)
N.T.U =	Unidades técnicas nefelométricas para medición de turbiedad.
$V_{1,2,3,4} =$	Velocidad del canal parshall correspondiente. (1, 2, 3,4). (m/s)
$V_v =$	Velocidad en las vueltas del floculador. (m/s)
$V_p =$	Velocidad entre pantalla del floculador. (m/s)

$V_a =$	Velocidad media del agua en el canal parshall. (m/s)
$\mu =$	Viscosidad dinámica. ( Pa.s)
$V_f =$	Volumen del floculador. (m <sup>3</sup> )
$V_m =$	Volumen medio de para la mezcla en el canal parshall. (m <sup>3</sup> )
$V =$	Volumen. (m <sup>3</sup> )

# TABLA DE CONTENIDO

**PORTADA**

**HOJA DE FIRMAS**

**AGRADECIMIENTO**

**DEDICATORIA**

**HOJA DE RESPONSABILIDAD**

**TABLA DE CONTENIDO**

**TABLA DE CONTENIDO DE ILUSTRACIONES**

**TABLA DE CONTENIDO DE TABLAS**

**TABLA DE CONTENIDO DE ANEXOS**

	Pp.
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
1.1. El agua en el planeta .....	1
1.1.1. <i>Procesos de potabilización de agua</i> .....	2
1.1.1.1. <i>Captación</i> .....	2
1.1.1.2. <i>Caudal</i> .....	3
1.1.2. <i>Muestreo</i> .....	3
1.1.3. <i>Transporte</i> .....	4
1.1.4. <i>Aireación</i> .....	4
1.1.5. <i>Desarenación</i> .....	5
1.1.6. <i>Coagulación</i> .....	5
1.1.7. <i>Mezcla rápida</i> .....	10
1.1.7.1. <i>Hidráulicos</i> .....	10
1.1.7.1.2. <i>Canal parshall</i> .....	10
1.1.7.1.3. <i>Resalto hidráulico con vertederos</i> .....	10
1.1.7.1.4. <i>Mezcladores en línea.</i> .....	11
1.1.7.2. <i>Mecánicos</i> .....	11
1.1.8. <i>Floculación</i> .....	12

1.1.9.	<i>Sedimentación</i> .....	13
1.1.9.1.	<i>Tipos de sedimentadores</i> .....	13
1.1.9.2.	<i>Sedimentadores rectangulares</i> .....	14
1.1.9.3.	<i>Sedimentadores circulares</i> .....	14
1.1.10.	<i>Filtración</i> .....	15
1.1.10.1.	<i>Tipos de filtración</i> .....	15
1.1.11.	<i>Desinfección</i> .....	16
1.2.	<i>Potabilización del agua subterránea</i> .....	18
1.2.7.	<i>Variables en la caracterización del agua del pozo</i> .....	18
1.2.7.1.	<i>Caudal</i> .....	18
1.2.7.1.2.	<i>Métodos de medición de caudales</i> .....	18
1.2.7.1.2.1.	<i>Métodos volumétricos</i> .....	18
1.2.7.1.2.2.	<i>Método velocidad por superficie</i> .....	19
1.2.7.1.2.3.	<i>Método mecánico</i> .....	19
1.2.7.1.2.4.	<i>Método colorimétrico</i> .....	19
1.2.7.2.	<i>Área del terreno</i> .....	19
1.2.7.3.	<i>Dimensiones de los lugares de tratamiento</i> .....	20
1.2.7.3.2.1.	<i>Desinfectante</i> .....	20
1.2.7.3.2.2.	<i>Factores que influyen en la desinfección</i> .....	20
1.2.7.3.2.3.	<i>Tiempo y Concentración</i> .....	20
1.2.7.3.2.4.	<i>Temperatura:</i> .....	21
1.2.7.3.2.5.	<i>pH</i> .....	21
1.2.8.	<i>Propiedades físico-químicas del agua</i> .....	21
1.2.8.1.	<i>Propiedades físicas</i> .....	22
1.2.8.1.2.	<i>Sabor y Olor</i> .....	22
1.2.8.1.3.	<i>Color</i> .....	22
1.2.8.1.4.	<i>Turbidez</i> .....	23
1.2.8.1.5.	<i>Conductividad y Resistividad</i> .....	23
1.2.9.	<i>Parámetros químicos</i> .....	24
1.2.9.1.	<i>Ph</i> .....	24
1.2.9.2.	<i>Dureza</i> .....	25
1.2.9.3.	<i>Alcalinidad</i> .....	25
1.2.9.4.	<i>Acidez mineral</i> .....	26
1.2.9.5.	<i>Sólidos Disueltos</i> .....	26

1.2.9.6.	<i>Sólidos en Suspensión</i> .....	26
1.2.9.7.	<i>Sólidos Totales</i> .....	26
1.2.9.8.	<i>Cloruros</i> .....	27
1.2.9.9.	<i>Sulfatos</i> .....	27
1.2.9.10.	<i>Nitratos</i> .....	27
1.2.9.11.	<i>Fosfatos</i> .....	28
1.2.9.12.	<i>Fluoruros</i> .....	28
1.2.9.13.	<i>Bicarbonatos</i> .....	28
1.2.9.14.	<i>Calcio</i> .....	29
1.2.9.15.	<i>Hierro</i> .....	29
1.2.10.	<i>Propiedades microbiológicas del agua</i> .....	30
1.3.	<i>Diseño</i> .....	31
1.3.1.	<i>Diseño del tanque cúbico de recolección</i> .....	31
1.3.1.1.	<i>Cálculo de los lados del tanque</i> .....	31
1.3.1.2.	<i>Tiempo de llenado</i> .....	32
1.3.7.	<i>Diseño del canal parshall</i> .....	33
1.3.7.1.	<i>Lámina de agua</i> .....	33
1.3.7.2.	<i>Cálculo de la canaleta en la sección media</i> .....	34
1.3.7.3.	<i>Cálculo de velocidad del agua</i> .....	34
1.3.7.4.	<i>Cálculo de la energía total disponible</i> .....	35
1.3.7.5.	<i>Cálculo de la velocidad en la sección 2</i> .....	36
1.3.7.6.	<i>Determinación de la lámina del resalto</i> .....	37
1.3.7.7.	<i>Chequeo del grado de sumergencia</i> .....	38
1.3.7.8.	<i>Cálculo del número de Froude</i> .....	38
1.3.7.9.	<i>Cálculo de la lámina de agua al final del trecho divergente</i> .....	39
1.3.7.10.	<i>Cálculo de la lámina de agua al final de la canaleta</i> .....	40
1.3.7.11.	<i>Cálculo del tiempo medio de mezcla</i> .....	40
1.3.7.11.2.	<i>Cálculo de la velocidad media</i> .....	40
1.3.7.11.3.	<i>Tiempo medio de mezcla</i> .....	41
1.3.7.12.	<i>Principio de energía de Bernoulli para determinación de pérdidas</i> .....	42
1.3.7.13.	<i>Gradiente de velocidad</i> .....	42
1.3.7.14.	<i>Cálculo de la elevación de la cresta por encima del fondo del canal "x"</i> .....	43

1.3.7.15.	<i>Longitud de desarrollo del resalto .....</i>	44
1.3.7.16.	<i>Datos de salida del canal parshall .....</i>	44
1.3.7.17.	<i>Cálculos de la dosificación de PCA (Policloruro de Aluminio)....</i>	45
1.3.7.17.2.	<i>Volumen de agua a tratar .....</i>	45
1.3.7.17.3.	<i>Cálculo de la cantidad de PCA .....</i>	46
1.3.7.17.4.	<i>Cálculo de la masa de PCA .....</i>	46
1.3.3.	<i>Diseño del floculador .....</i>	47
1.3.3.1.	<i>Área de los canales .....</i>	47
1.3.3.2.	<i>Determinación del volumen del floculador .....</i>	48
1.3.3.3.	<i>Ancho total.....</i>	48
1.3.3.4.	<i>Determinación del ancho de las cámaras .....</i>	49
1.3.3.5.	<i>Diseño de las cámaras.....</i>	49
1.3.3.6.	<i>Determinar el número de canales de las cámaras .....</i>	50
1.3.3.7.	<i>Espaciamiento entre pantalla .....</i>	50
1.3.3.8.	<i>Cálculo del espacio entre las pantallas y el muro del floculador.</i>	51
1.3.3.9.	<i>Velocidad entre pantallas o canales.....</i>	52
1.3.3.10.	<i>Velocidad de la vuelta .....</i>	52
1.3.3.11.	<i>Longitud total recorrida en la cámara .....</i>	53
1.3.3.12.	<i>Cálculo de la pérdida de carga total en la cámara .....</i>	53
1.3.3.13.	<i>Longitud mojada.....</i>	54
1.3.3.14.	<i>Perímetro mojado .....</i>	55
1.3.3.15.	<i>Radio hidráulico .....</i>	55
1.3.3.16.	<i>Pérdida de energía interna del canal .....</i>	56
1.3.3.17.	<i>Pérdidas de carga en las vueltas .....</i>	57
1.3.3.18.	<i>Pérdida total .....</i>	57
1.3.3.19.	<i>Verificación del gradiente .....</i>	58
1.3.4.	<i>Diseño del sedimentador .....</i>	59
1.3.4.1.	<i>Cálculo de la longitud del sedimentador.....</i>	59
1.3.4.2.	<i>Comprobación de la relación .....</i>	60
1.3.4.3.	<i>Relación entre la longitud y la altura.....</i>	60
1.3.4.4.	<i>Velocidad horizontal.....</i>	61
1.3.4.5.	<i>Tiempo de retención .....</i>	62
1.3.4.6.	<i>Altura máxima .....</i>	62
1.3.4.7.	<i>Altura del agua .....</i>	63

1.3.4.8.	<i>Cálculo de los orificios</i> .....	63
1.3.7.17.5.	<i>Área de cada orificio</i> .....	64
1.3.7.17.6.	<i>Número de orificios</i> .....	65
1.3.7.17.7.	<i>Cálculo de la altura de orificios en la pared</i> .....	65
1.3.7.17.8.	<i>Determinación de los espacios entre filas y columnas</i> .....	66
1.3.7.17.9.	<i>Cálculo del caudal de salida</i> .....	67
1.3.5.	<i>Diseño del filtro lento de arena</i> .....	68
1.3.5.1.	<i>Número de unidades</i> .....	68
1.3.5.2.	<i>Área del medio filtrante</i> .....	68
1.3.5.3.	<i>Coefficiente de mínimo costo</i> .....	69
1.3.5.4.	<i>Largo de la unidad</i> .....	70
1.3.5.5.	<i>Ancho de cada unidad</i> .....	70
1.3.5.6.	<i>Velocidad de filtración real</i> .....	71
1.3.5.7.	<i>Determinación del <math>d_{arena}</math>, <math>d_{gravilla}</math>, <math>d_{grava}</math></i> .....	71
1.3.7.17.10.	<i>Determinación del diámetro de la gravilla</i> .....	72
1.3.7.17.11.	<i>Determinación del diámetro de grava</i> .....	72
1.3.5.8.	<i>Caudal de salida del filtro</i> .....	73
1.3.5.9.	<i>Cálculo de la altura del filtro</i> .....	73
1.3.5.10.	<i>Cálculo de la altura del desagüe</i> .....	74
1.3.6.	<i>Diseño del filtro de resina catiónica</i> .....	75
1.3.6.1.	<i>Determinación del volumen de agua a tratar</i> .....	75
1.3.6.2.	<i>Masa de resina a utilizar</i> .....	75
1.3.6.3.	<i>Volumen de resina a utilizar</i> .....	76
1.3.6.4.	<i>Cálculo del diámetro del filtro</i> .....	77
1.3.6.5.	<i>Cálculo del caudal de salida del filtro</i> .....	77
1.3.6.6.	<i>Cálculo de la altura del agua dentro del filtro</i> .....	78
1.3.6.7.	<i>Determinación del área de salida de filtrado</i> .....	79
1.3.6.8.	<i>Cálculo de la altura del desagüe del filtro</i> .....	80
1.3.6.9.	<i>Cálculo de la velocidad a la salida del filtro</i> .....	80
1.3.7.	<i>Cálculos adicionales</i> .....	81
1.3.7.1.	<i>Cálculo del volumen de salmuera de activación</i> .....	81
1.3.7.2.	<i>Cálculo de la masa de salmuera al 8%</i> .....	82
1.3.7.18.	<i>Cálculo de la cantidad de agua de lavado de la resina</i> .....	83
1.3.7.19.	<i>Dosificación de cloro</i> .....	83

<b>CAPITULO II .....</b>	<b>85</b>
<b>2. PARTE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>85</b>
2.1. Muestreo .....	85
2.2. Metodología.....	86
2.2.1. Métodos y técnicas.....	86
2.2.1.1. Métodos.....	86
2.2.1.1.2. Electrométricos.....	86
2.2.1.1.3. Espectrofotométrico.....	86
2.2.1.1.4. Nefelométrico.....	87
2.2.1.1.5. Volumétrico.....	87
2.2.1.1.6. Colorimétrico.....	87
2.2.1.2. Técnicas .....	90
2.3. Datos experimentales.....	109
2.3.1. Diagnostico.....	109
2.3.2. Datos.....	109
2.4. Datos adicionales .....	114
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>116</b>
<b>3. DISEÑO .....</b>	<b>116</b>
3.1. Cálculos .....	116
3.1.1. Diseño del tanque de almacenamiento.....	116
3.1.1.1. Cálculo de los lados del tanque.....	116
3.1.1.2. Tiempo de llenado de por tanque .....	116
3.1.2. Diseño del canal parshall.....	117
3.1.2.1. Lámina de agua .....	117
3.1.2.2. Cálculo de la canaleta en la sección media .....	117
3.1.2.3. Cálculo de velocidad del agua .....	117
3.1.2.4. Cálculo de la energía total disponible.....	118
3.1.2.5. Cálculo de la velocidad en la sección 2 .....	118
3.1.2.6. Determinación de la lámina del resalto .....	119
3.1.2.7. Chequeo del grado de sumergencia para verificar condiciones de aforador .....	120
3.1.2.8. Cálculo del número de Froude.....	120

3.1.2.9.	<i>Cálculo de la lámina de agua al final del trecho divergente .....</i>	120
3.1.2.10.	<i>Cálculo del tiempo medio de mezcla .....</i>	121
3.1.2.11.	<i>Tiempo medio de mezcla.....</i>	122
3.1.2.12.	<i>Principio de energía de Bernoulli para determinación de pérdidas .....</i>	122
3.1.2.13.	<i>GRADIENTE DE VELOCIDAD.....</i>	122
3.1.2.14.	<i>Cálculo de la elevación de la cresta por encima del fondo del canal " x" .....</i>	123
3.1.2.15.	<i>Longitud de desarrollo del resalto (l).....</i>	123
3.1.2.16.	<i>Datos de salida del canal parshall .....</i>	123
3.1.2.17.	<i>Cálculos de la dosificación de PCA (Policloruro de Aluminio)..</i>	124
3.1.2.18.	<i>Cálculo de la cantidad de PCA .....</i>	125
3.1.2.19.	<i>Cálculo de la masa de PCA.....</i>	125
3.1.3.	<i>Diseño del floculador .....</i>	125
3.1.3.1.	<i>Datos de entrada al floculador.....</i>	125
3.1.3.2.	<i>Área de los canales .....</i>	126
3.1.3.3.	<i>Determinación del volumen del Floculador .....</i>	126
3.1.3.4.	<i>Ancho total.....</i>	126
3.1.3.5.	<i>Determinación del ancho de las cámaras .....</i>	127
3.1.3.6.	<i>Diseño de la primera cámara.....</i>	127
3.1.3.7.	<i>Determinar el número de canales de la primera cámara.....</i>	127
3.1.3.8.	<i>Espaciamiento entre pantalla.....</i>	127
3.1.3.9.	<i>Cálculo del espacio entre las pantallas y el muro del floculador.....</i>	128
3.1.3.10.	<i>Velocidad entre pantallas o canales.....</i>	128
3.1.3.11.	<i>Velocidad de la vuelta .....</i>	128
3.1.3.12.	<i>Longitud total recorrida en la cámara .....</i>	129
3.1.3.13.	<i>Cálculo de la pérdida de carga total en la cámara .....</i>	129
3.1.3.14.	<i>Longitud mojada.....</i>	129
3.1.3.15.	<i>Perímetro .....</i>	130
3.1.3.16.	<i>Radio hidráulico .....</i>	130
3.1.3.17.	<i>Pérdida de energía interna del canal .....</i>	130
3.1.3.18.	<i>Pérdidas de carga en las vueltas .....</i>	131

3.1.3.19.	<i>Pérdida total</i> .....	131
3.1.3.20.	<i>Verificación del gradiente.</i> .....	131
3.1.3.21.	<i>Diseño de la segunda cámara</i> .....	132
3.1.3.22.	<i>Espaciamiento entre pantallas</i> .....	132
3.1.3.23.	<i>Espacio entre la pantalla y el muro del floculador</i> .....	132
3.1.3.24.	<i>Velocidad entre pantallas o canales</i> .....	133
3.1.3.25.	<i>Velocidad de la vuelta</i> .....	133
3.1.3.26.	<i>Longitud total recorrida en la cámara</i> .....	133
3.1.3.27.	<i>Cálculo de la pérdida de carga total en la cámara</i> .....	134
3.1.3.28.	<i>Longitud mojada</i> .....	134
3.1.3.29.	<i>Perímetro</i> .....	134
3.1.3.30.	<i>Radio hidráulico</i> .....	135
3.1.3.31.	<i>Pérdida de energía interna del canal</i> .....	135
3.1.3.32.	<i>Pérdidas de carga en las vueltas</i> .....	135
3.1.3.33.	<i>Pérdida total</i> .....	136
3.1.3.34.	<i>Verificación del gradiente.</i> .....	136
3.1.3.35.	<i>Diseño de la tercera cámara</i> .....	136
3.1.3.36.	<i>Determinar el número de canales de la tercera cámara.</i> .....	136
3.1.3.37.	<i>Espaciamiento entre pantallas.</i> .....	137
3.1.3.38.	<i>Espacio entre la pantalla y el muro del floculador</i> .....	137
3.1.3.39.	<i>Velocidad entre pantallas o canales</i> .....	137
3.1.3.40.	<i>Velocidad en la vuelta</i> .....	138
3.1.3.41.	<i>Longitud total recorrida en la cámara</i> .....	138
3.1.3.42.	<i>Cálculo de la pérdida de carga total en la cámara</i> .....	138
3.1.3.43.	<i>Longitud mojada</i> .....	139
3.1.3.44.	<i>Perímetro</i> .....	139
3.1.3.45.	<i>Radio hidráulico</i> .....	139
3.1.3.46.	<i>Pérdida de energía interna del canal</i> .....	140
3.1.3.47.	<i>Pérdidas de carga en las vueltas</i> .....	140
3.1.3.48.	<i>Pérdida total</i> .....	140
3.1.3.49.	<i>Verificación del gradiente.</i> .....	141
3.1.3.50.	<i>Diseño de la cuarta cámara</i> .....	141
3.1.3.51.	<i>Determinar el número de canales de la cuarta cámara.</i> .....	141
3.1.3.52.	<i>Espaciamiento entre pantallas.</i> .....	141

3.1.3.53.	<i>Espacio entre la pantalla y el muro del floculador</i> .....	142
3.1.3.54.	<i>Velocidad entre pantallas o canales</i> .....	142
3.1.3.55.	<i>Velocidad de la vuelta</i> .....	142
3.1.3.56.	<i>Longitud total recorrida en la cámara</i> .....	143
3.1.3.57.	<i>Cálculo de la pérdida de carga total en la cámara</i> .....	143
3.1.3.58.	<i>Longitud mojada</i> .....	143
3.1.3.59.	<i>Perímetro</i> .....	144
3.1.3.60.	<i>Radio hidráulico</i> .....	144
3.1.3.61.	<i>Pérdida de energía interna del canal</i> .....	144
3.1.3.62.	<i>Pérdidas de carga en las vueltas</i> .....	145
3.1.3.63.	<i>Pérdida total</i> .....	145
3.1.3.64.	<i>Verificación del gradiente.</i> .....	145
3.1.4.	<i>Diseño de un sedimentador</i> .....	146
3.1.4.1.	<i>Cálculo del área superficial de la zona</i> .....	146
3.1.4.2.	<i>Cálculo de la longitud del sedimentador</i> .....	146
3.1.4.3.	<i>Comprobación de la relación</i> .....	147
3.1.4.4.	<i>Relación entre la longitud y la altura.</i> .....	147
3.1.4.5.	<i>Velocidad horizontal</i> .....	148
3.1.4.6.	<i>Tiempo de retención</i> .....	148
3.1.4.7.	<i>Altura máxima</i> .....	148
3.1.4.8.	<i>Altura del agua</i> .....	149
3.1.4.9.	<i>Cálculo de los orificios</i> .....	149
3.1.4.10.	<i>Área de cada orificio</i> .....	149
3.1.4.11.	<i>Número de orificios</i> .....	150
3.1.4.12.	<i>Cálculo de la altura de orificios en la pared</i> .....	150
3.1.4.13.	<i>Variación homogénea de los orificios</i> .....	150
3.1.5.	<i>Diseño del filtro lento de arena</i> .....	151
3.1.5.1.	<i>Número de unidades</i> .....	152
3.1.5.2.	<i>Área del medio filtrante</i> .....	152
3.1.5.3.	<i>Coefficiente de mínimo costo.</i> .....	153
3.1.5.4.	<i>Largo de la unidad</i> .....	153
3.1.5.5.	<i>Ancho de cada unidad.</i> .....	153
3.1.5.6.	<i>Velocidad de filtración real</i> .....	154
3.1.5.7.	<i>Determinación del <math>d_{arena}</math>, <math>d_{gravilla}</math>, <math>d_{grava}</math></i> .....	154

3.1.5.8.	<i>Determinación del diámetro de la gravilla.</i>	154
3.1.5.9.	<i>Determinación del diámetro de grava.</i>	155
3.1.5.10.	<i>Caudal de salida del filtro</i>	155
3.1.5.11.	<i>Cálculo de la altura del filtro</i>	156
3.1.5.12.	<i>Cálculo de la altura del desagüe</i>	157
3.1.6.	<i>Diseño del filtro de resina catiónica</i>	157
3.1.6.1.	<i>Datos de entrada al filtro de resina catiónica.</i>	157
3.1.6.2.	<i>Determinación del volumen de agua a tratar</i>	157
3.1.6.3.	<i>Masa de resina a utilizar</i>	158
3.1.6.4.	<i>Volumen de resina a utilizar</i>	158
3.1.6.5.	<i>Cálculo del diámetro del filtro</i>	158
3.1.6.6.	<i>Cálculo del caudal de salida del filtro</i>	159
3.1.6.7.	<i>Cálculo de la altura del agua dentro del filtro</i>	159
3.1.6.8.	<i>Determinación del área de salida de filtrado</i>	160
3.1.6.9.	<i>Cálculo de la altura del desagüe del filtro.</i>	160
3.1.6.10.	<i>Cálculo de la velocidad a la salida del filtro.</i>	161
3.1.7.	<i>Cálculos adicionales</i>	161
3.1.7.1.	<i>Cálculo del volumen de salmuera de activación.</i>	161
3.1.7.2.	<i>Cálculo de la masa de NaCl al 8%.</i>	162
3.1.7.3.	<i>Cálculo de la cantidad de agua de lavado de la resina.</i>	162
3.1.7.4.	<i>Dosificación de cloro.</i>	163
3.1.7.5.	<i>Cálculo de la potencia de la bomba del Filtro de resina al Tanque de almacenamiento</i>	163
3.2.	<i>Resultados</i>	164
3.2.1.	<i>Caudal de entrada a la planta.</i>	164
3.2.2.	<i>Tanque recolector</i>	164
3.2.3.	<i>Resina catiónica</i>	164
3.2.4.	<i>Policloruro de aluminio</i>	165
3.2.5.	<i>Volumen de solución de PCA</i>	166
3.2.6.	<i>Masa de PCA</i>	166
3.2.7.	<i>Masa de resina</i>	166
3.2.8.	<i>Dosificación de cloro (hipoclorito de sodio)</i>	167
3.3.	<i>Propuesta</i>	168
3.3.1.	<i>Análisis de costos</i>	175

3.4.	<i>Análisis y discusión de resultados</i> .....	179
------	---	-----

### **Tabla de Contenido de Ilustraciones**

	<b>Pp</b>
ILUSTRACIÓN 1: Acuífero Guaraní .....	1
ILUSTRACIÓN 2: Depósito de coagulación, mezcla y floculador .....	13
ILUSTRACIÓN 3: Dimensionamiento del canal parshall .....	124
ILUSTRACIÓN 4: Ubicación de los agujeros en la pantalla difusora .....	150
ILUSTRACIÓN 5: Balance volumétrico del Filtro de Arena.....	156
ILUSTRACIÓN 6: Balance volumétrico del filtro de resina catiónica.....	159
ILUSTRACIÓN 7: Disminución de la dureza en función de la salmuera .....	164
ILUSTRACIÓN 8: Conductividad del agua de lavado de resina.....	165
ILUSTRACIÓN 9: Comparación del agua tratada y cruda.....	168
ILUSTRACIÓN 10: Tanque recolector.....	169
ILUSTRACIÓN 11: Canal Parshall .....	170
ILUSTRACIÓN 12: Floculador .....	171
ILUSTRACIÓN 13: Sedimentador .....	172
ILUSTRACIÓN 14: Filtro de Arena .....	173
ILUSTRACIÓN 15: Filtro de Resina Catiónica.....	174

### **Tabla de Contenido de Tablas**

	<b>Pp</b>
Tabla 1: Conductividad.....	24
Tabla 2: Norma De Los Parámetros Físico- Químicos.....	30
Tabla 3: Norma De Los Parámetros Microbiológicos.....	31
Tabla 4: Método De Análisis De La Muestra Problema.....	87
Tabla 5: Métodos De Análisis De La Muestras Problemas.....	88
Tabla 6: Determinación De Alcalinidad Método 2320 A.....	91
Tabla 7: Determinación De Dureza Con Edta Método 2340 C .....	92
Tabla 8: Determinación De Conductividad Método 2510 B.....	93

Tabla 9:	Determinación De Sólidos Totales Método 2540 .....	94
Tabla 10:	Determinación De Std Método 2540 C .....	95
Tabla 11:	Determinación Del Ph Método 4500 .....	96
Tabla 12:	Determinación De Turbidez Método 2130 B .....	97
Tabla 13:	Determinación De Color Método 2120 .....	98
Tabla 14:	Determinación De Hierro Método 8008.....	99
Tabla 15:	Determinación De Fosfatos Método 8190.....	100
Tabla 16:	Determinación De Nitratos Método 4500-NO <sub>3</sub> B .....	101
Tabla 17:	Fluoruros Método 8029 .....	102
Tabla 18:	Determinación De Nitritos Método 4500 - B .....	103
Tabla 19:	Amonios Método 4500 - C .....	104
Tabla 20:	Determinación De Sulfatos Método 4500 E.....	105
Tabla 21:	Determinación De Cloruros Método 4500 Cl <sup>-</sup> B.....	106
Tabla 22:	Determinación Del Cloro Residual 4500 Cl.....	107
Tabla 23:	Determinación De Contaminación Microbiológica Método 9222 B .....	108
Tabla 24:	Resultados Promedios Del Análisis Del Agua De Captación De Langos San Andrés.....	109
Tabla 25:	Determinación Del Ancho W Del Canal Parshall En Función Del Caudal.....	110
Tabla 26:	Datos Tabulados Para El Diseño Del Canal Parshall .....	111
Tabla 27:	Valores De Máxima Sumergencia En Función Del Ancho De La Garganta Del Canal Parshall .....	111
Tabla 28:	Datos Experimentales De Dosificación De Pca .....	112
Tabla 29:	Datos Experimentales Para El Diseño Del Floculador.....	112
Tabla 30:	Datos Experimentales Para El Diseño Del Sedimentador .....	112
Tabla 31:	Criterio De Diseño Del Sedimentador.....	112
Tabla 32:	Datos Experimentales Para El Diseño Del Filtro Lento De Arena ..	113
Tabla 33:	Relación Entre Diámetros De Grava Gravilla Y Arena .....	113
Tabla 34:	Datos Experimentales Para El Diseño Del Filtro De Resina Catiónica.....	113
Tabla 35:	Datos Experimentales De La Solución De Activación De La Resina.....	114

Tabla 36:	Control De La Conductividad En El Agua De Lavado De La Resina.....	114
Tabla 37:	Datos Preliminares Para El Diseño De La Planta De Tratamiento ..	114
Tabla 38:	Valores De Peso Específico Y Viscosidad Dinámica .....	115
Tabla 39:	Criterios De Diseño Para Mezcladores Rápidos .....	115
Tabla 40:	Coeficiente Manning Para Materiales Específicos.....	115
Tabla 41:	Selección De La Concentración De Salmuera Óptima.....	165
Tabla 42:	Relación De Concentración Y Eficiencia Del Pca .....	166
Tabla 43:	Dosificación De Cloro.....	167
Tabla 44:	Rendimiento Del Proceso Por Cada Parámetro.....	167
Tabla 45:	Dimensiones Del Tanque Recolector .....	169
Tabla 46:	Dimensiones Del Canal Parshall .....	170
Tabla 47:	Dimensiones Del Floculador .....	171
Tabla 48:	Dimensiones Del Sedimentador .....	172
Tabla 49:	Espesor De Las Capas Del Lecho Filtrante .....	173
Tabla 50:	Dimensiones Del Filtro De Arena .....	174
Tabla 51:	Dimensiones Para El Filtro De Resina Catiónica.....	175
Tabla 52:	Costos De Materiales Totales.....	175
Tabla 53:	Costos De Materiales Para Los Procesos .....	176
Tabla 54:	Costos De Los Procesos De La Planta .....	176

## TABLA DE ECUACIONES

	<b>Pp.</b>
ECUACIÓN 1.....	32
ECUACIÓN 2.....	32
ECUACIÓN 3.....	33
ECUACIÓN 4.....	34
ECUACIÓN 5.....	34
ECUACIÓN 6.....	35
ECUACIÓN 7.....	36
ECUACIÓN 8.....	36
ECUACIÓN 9.....	37
ECUACIÓN 10.....	38

ECUACIÓN 11.....	38
ECUACIÓN 12.....	39
ECUACIÓN 13.....	40
ECUACIÓN 14.....	41
ECUACIÓN 15.....	41
ECUACIÓN 16.....	42
ECUACIÓN 17.....	43
ECUACIÓN 18.....	43
ECUACIÓN 19.....	44
ECUACIÓN 20.....	44
ECUACIÓN 21.....	45
ECUACIÓN 22.....	46
ECUACIÓN 23.....	47
ECUACIÓN 24.....	47
ECUACIÓN 25.....	48
ECUACIÓN 26.....	48
ECUACIÓN 27.....	49
ECUACIÓN 28.....	50
ECUACIÓN 29.....	51
ECUACIÓN 30.....	51
ECUACIÓN 31.....	52
ECUACIÓN 32.....	52
ECUACIÓN 33.....	53
ECUACIÓN 34.....	53
ECUACIÓN 35.....	54
ECUACIÓN 36.....	55
ECUACIÓN 37.....	55
ECUACIÓN 38.....	56
ECUACIÓN 39.....	57
ECUACIÓN 40.....	57
ECUACIÓN 41.....	58
ECUACIÓN 42.....	59
ECUACIÓN 43.....	60
ECUACIÓN 44.....	60

ECUACIÓN 45.....	61
ECUACIÓN 46.....	62
ECUACIÓN 47.....	62
ECUACIÓN 48.....	63
ECUACIÓN 49.....	64
ECUACIÓN 50.....	64
ECUACIÓN 51.....	65
ECUACIÓN 52.....	66
ECUACIÓN 53.....	66
ECUACIÓN 54.....	66
ECUACIÓN 55.....	67
ECUACIÓN 56.....	68
ECUACIÓN 57.....	68
ECUACIÓN 58.....	69
ECUACIÓN 59.....	70
ECUACIÓN 60.....	70
ECUACIÓN 61.....	71
ECUACIÓN 62.....	72
ECUACIÓN 63.....	72
ECUACIÓN 64.....	73
ECUACIÓN 65.....	73
ECUACIÓN 66.....	73
ECUACIÓN 67.....	74
ECUACIÓN 68.....	76
ECUACIÓN 69.....	76
ECUACIÓN 70.....	77
ECUACIÓN 71.....	78
ECUACIÓN 72.....	78
ECUACIÓN 73.....	79
ECUACIÓN 74.....	80
ECUACIÓN 75.....	81
ECUACIÓN 76.....	81
ECUACIÓN 77.....	82
ECUACIÓN 78.....	83

ECUACIÓN 79.....	83
------------------	----

### **Tabla De Contenido De Anexos**

	<b>Pp.</b>
ANEXO A: Plano de la Planta de Tratamiento .....	180
ANEXO B: Plano del Tanque Recolector de Entrada y Salida.....	180
ANEXO C: Plano del Canal Parshall.....	180
ANEXO D: Plano del Floculador.....	180
ANEXO E: Plano de Sedimentador .....	180
ANEXO F: Plano del Filtro de Arena.....	180
ANEXO G: Plano del Filtro de Resina Catiónica .....	180
ANEXO H: Hojas Técnicas de Resina Catiónica y el PCA.....	180

## RESUMEN

Mi investigación realizada para el diseño de una planta de potabilización a partir de aguas subterráneas, para la comunidad Langos San Alfonso, del pozo que se ubica en el sector Guano de la parroquia San Andrés.

Partiendo de la caracterización físico-química y microbiológica utilizando los métodos establecidos en el Manual Standar Methods para control de calidad del agua así como el espectrofotómetro HACH DR 2800 y 2400.

Determinando que no es apta para el consumo humano por los parámetros de Dureza Cálctica se encontraron en 616 ppm, Fluoruros 1,95 ppm, sulfatos 307,98ppm, Solidos Totales 1376 ppm; fuera del límite máximo de las normas NTE INEN ISO 1108 2006 y 2011.

Para realizar la potabilización son necesarios los procesos de mezcla rápida de coagulante policloruro de aluminio al 3,5% para reducir la concentración de FLUORUROS con el 47,18% de eficiencia.

Pasando a un proceso de sedimentación; después de 30 minutos el agua clarificada pasa al proceso de filtración rápida en arena, eliminando los residuos de floculación, la filtración con resina catiónica aumenta su eficiencia y tiempo de vida al activarla con 6 mL de solución de cloruro de sodio al 8% disminuyendo la dureza con el 35,06% de eficiencia y un mayor tiempo de vida.

Llegando al proceso de cloración en el que se determinó que con una gota de cloro (0,05mL de NaClO al 5%), se obtenía después de 30 minutos de acción, una cantidad de

cloro residual de 0,55 ppm, demostrando de esta manera que la concentración de microorganismo fue destruida y aún quedaba 0,55ppm de cloro.

En conclusión el tratamiento investigado es adecuado para potabilizar el agua de la comunidad Langos San Alfonso con una eficiencia general de 51,95%.

Se recomienda aplicar este sistema de tratamiento a la Comunidad Langos San Alfonso para el mejor abastecimiento de agua y la seguridad de las personas al momento de consumir el líquido vital.

**Palabras claves:** < SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA>, < MANUAL STANDAR METHODS >, < NORMA TÉCNICA INEN ISO 1108>, < FLUORUROS>, < SULFATOS>, < POLICLORURO DE ALUMINIO>, < RESINA CATIÓNICA>,< COMUNIDAD LANGOS SAN ALFONSO>.

## **ABSTRACT**

The study did the water in COMMUNITY LANGOS SAN ALFONSO, starting from a characterization physical-chemical and microbiological, I determined that for water purification is necessary processes of rapid mixing of coagulant POLY ALUMINUM CHLORIDE to 3.5% to reduce the concentration of FLUORIDES at 47.18%, moving to a sedimentation process obtaining therefore the separation of sludge formed; experimentally was determined was determined experimentally for each liter of water 8% after 30 minutes, formed a layer , sludge and clarified water passes to the process of rapid sand filtration to remove residues of flocculation, this process helps us the water to pass without impurities or solid, as in the filtration process with cationic resin decreasing water hardness 35.06%, the resin will have a longer time of useful life; in the experimental analysis for activation of the cationic resin was determined to use a solution of sodium chloride ClNa 8%.

Finally we come to the chlorination process where determined that a drop of chlorine (0.05mL of sodium hypochlorite 5%), was obtained after 30 minutes of action an amount of residual chlorine of 0.55 ppm thus showing that the concentration of microorganism was destroyed and we still 0.55% chlorine. In this way was established a suitable process for the purification of our water problem.

## INTRODUCCIÓN

El agua que se puede utilizar para el consumo corresponde solamente el 2,5% del agua terrestre según Ricardo Almenar Asencio en su publicación LA SOSTENIBILIDAD DEL DESARROLLO (Pp.148), un factor importante es que al aumentar la población terrestre se hace necesaria más cantidad de agua, haciéndose fundamental encontrar nuevas fuentes para el abastecimiento en forma natural.

Al seguir un ciclo el agua superficial tiende a cambiar de estado en un juego de ganancia y pérdida de energía (calor), cuando el agua se evapora, luego se condensa en gotas, las mismas que se distribuyen en forma aleatoria por todas partes, cierto porcentaje pueden caer en tierra fértil, desiertos, océanos. Estas fuentes de agua son muy vulnerables a la contaminación atmosférica tanto por materiales sólidos, líquidos, materiales finos.

Es ahí donde podemos utilizar el agua subterránea; la cual al encontrarse bajo la superficie entre grietas, es considerada como reserva la cual no está expuesta a la contaminación ambiental o atmosférica, posee una composición física estable, pero dependiendo las formas rocosas y los minerales que se encuentran cerca se puede tener aguas subterráneas con altos contenidos de minerales sean de calcio, magnesio, flúor.

La forma más rápida de determinar las características principales del agua es tomando muestras del agua con una frecuencia regular, para analizarlas mediante el uso de equipos específicos como multímetros para color, pH, conductividad y los espectrofotómetros para alcalinidad, dureza, calcio y hierro en los laboratorios.

El agua para consumo debe cumplir ciertos requisitos o parámetros de concentraciones en sus componentes orgánicos e inorgánicos cuando la contaminación afecta a la mayoría de dichos parámetros la regulación de los mismos generalmente se logra mediante la dosificación de coagulantes, desinfectantes, así como procesos físicos de filtración o

precipitación y aireación para llegar a tener agua potable, utilizando los parámetros de las normas INEN 1108 2006 y su reforma INEN 1108 2011, cuyo objetivo es indicar los requisitos que debe cumplir las aguas para consumo humano.

El agua potable de forma política en nuestra constitución es parte de las dependencias de los municipios; y con ayuda de los consejos provinciales (GADPCH), son los encargados de velar que el agua potable llegue a los hogares de las personas.

## **ANTECEDENTES**

La comunidad Langos San Alfonso está ubicado en la parroquia El Rosario del cantón Guano de la Provincia de Chimborazo a 6.53 Km de Riobamba, está a una altura media de 2874m a nivel del mar. Se abastece de agua entubada procedente de las vertientes aledañas al sector es decir no usan agua potable para su vida cotidiana, en forma general el 23% de las viviendas posee alcantarillado.

Desde hace unos 8 años la población de Langos San Alfonso ha tratado de buscar más fuentes de agua, por el motivo de que su población ha incrementado.

Y es por eso que mediante la ayuda del CONSEJO PROVINCIAL DE CHIMBORAZO (GADPCH) en conjunto con el apoyo del gobierno Japonés, mediante el proyecto de AGUAS SUBTERRÁNEAS se ha podido perforar un pozo para obtener agua y así abastecerse del líquido vital.

## **JUSTIFICACIÓN**

El pozo de Langos, cantón Guano, cuenta con 4 revestimientos, su estado es en funcionamiento y provee de agua a 3 comunidades, 320 familias, 1600 personas. En la comunidad de Langos San Alfonso existe una población de 200 habitantes, en un total de 40 familias.

El consumo de agua en este sector es de 50Lt/ persona /día, teniendo un gasto mensual de 3 a 5 dólares; la bomba es prendida solo 4 horas al día y tiene un caudal de 1.47 L/s, cuyo Nivel estático es de 116m, Nivel dinámico es 206,2m.

El agua procedente del pozo no es potable de acuerdo a los análisis realizados a las muestras tomadas, dio como resultado que los parámetros de turbiedad, dureza, fluoruros, conductividad, calcio, magnesio sulfatos, hierro, fosfatos, nitritos y solidos totales se encuentran fuera de los límites máximos permitidos por la NORMA INEN 1108, causantes de dar un mal sabor al agua y provocar daños a la placa dental por el contenido de fluoruros y un aspecto turbio.

Es así necesario el diseño de un proceso de potabilización, que garantice el resultado de un agua que cumpla los requisitos de consumo humano y que satisfaga el cobro del servicio básico. Por tal razón este proyecto de investigación se realiza para diseñar una planta de potabilización de agua subterránea para la parroquia Langos San Alfonso.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Diseñar una planta de potabilización para la comunidad Langos san Alfonso de la parroquia San Andrés a partir del agua subterránea del pozo que se ubica en el sector

### **Objetivo Específicos**

- ✓ Realizar la caracterización Físico-Química y Microbiológica del agua del pozo de Langos “San Alfonso”.
- ✓ Identificar el área para la ubicación de los procesos para la purificación del agua.
- ✓ Realizar cálculos de ingeniería para el dimensionamiento de los procesos para la potabilización.
- ✓ Elaborar los planos de cada proceso a utilizar en la potabilización de nuestra agua problema.

# CAPITULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. El agua en el planeta

El planeta tierra es en un 25% tierra distribuido en lo que conocemos como continentes, islas o archipiélagos y el 75% es agua, pero de este 75% el 2,5% corresponde al agua dulce indispensable para la sobrevivencia de los seres vivos, esta agua dulce se encuentra distribuida en forma aleatoria por todo el globo terráqueo, en forma de agua superficial y agua subterránea.

El agua se encuentra en forma de lagos, ríos, pozos, fuentes. Y pueden llegar a alcanzar extensiones muy grandes llegando a alcanzar millones de km<sup>2</sup> (como el acuífero guaraní).

### ILUSTRACIÓN 1: Acuífero Guaraní



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Acu%C3%ADfero\\_Guaran%C3%AD#/media/File:Aquiferoguarani.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Acu%C3%ADfero_Guaran%C3%AD#/media/File:Aquiferoguarani.jpg), 2013

Este acuífero está delimitado por:

- ✓ en Brasil ocupa 846 773 km<sup>2</sup> aproximadamente
- ✓ en Argentina ocupa 225 000 km<sup>2</sup> aproximadamente
- ✓ en Paraguay ocupa 70 000 km<sup>2</sup> aproximadamente

✓ en Uruguay ocupa 45 000 km<sup>2</sup>. Aproximadamente

El agua del subsuelo es un recurso que es muy importante para el abastecimiento del líquido vital, dota del líquido vital a 1/3 de la población del planeta, su forma de manejarla es compleja ya que es sensible a la contaminación y probablemente a ser sobreexplotada.

### **Agua potable**

Es considerada como agua potable cuando cumple ciertos requisitos determinados en normas en este caso la NORMA TÉCNICA INEN 1108, estos requisitos son físico-químicos y microbiológicos, de esta manera no produce daños a la integridad de las personas.

Por ende es fundamental que el agua sea analizada para así determinar las características que se encuentren fuera de rango, para determinar el proceso más adecuado de tratamiento; deduciéndolo a partir de experiencias en laboratorio o datos experimentales. En el laboratorio adecuamos situaciones de procesos físicos y químicos a nivel de tamaño micro, y de esa forma llegar a condiciones macro.

El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.

#### **1.1.1. *Procesos de potabilización de agua***

##### **1.1.1.1. *Captación***

La captación del agua puede ser de distintas fuentes tales como: ríos, lagos, vertientes, fuentes y pozos. El proceso de captación puede darse de forma mecánica o hidráulica, en

el caso de la forma mecánica se utiliza un mecanismo de acción que permite el movimiento del agua de un punto hacia otro mediante la utilización de energía (bombas hidráulicas), esta forma es utilizada comúnmente en los pozos de agua subterráneas; en el caso de la forma hidráulica se utiliza la misma fuerza de la corriente natural que posee el agua, aprovechándola para trasladarla de un punto a otro.

La captación consiste en la ubicación de un punto estratégico para la toma del agua a tratar, de ahí se establece las condiciones de inicio para el diseño de los procesos de potabilización.

#### **1.1.1.2. Caudal**

El caudal es una medición que determina la cantidad de agua o volumen de agua que recorre por unidad de tiempo en punto establecido de un lugar, proceso o región específico, operacionalmente se define como el producto entre la velocidad que posee el agua con por el área. Es un parámetro muy importante cuando se analizan fluidos ya que se puede determinar otros aspectos dependientes de este como tiempos para llenar un volumen, la cantidad requerida de fluido para procesos. Existen diversas de forma de determinar el caudal mediante aforación con un recipiente adecuado y su respectiva valoración numérica en el cuerpo del mismo por un determinado tiempo. Mediante caudalímetros los mismos que poseen unas hélices que se mueven dependiendo la velocidad del fluido, dando así el caudal del fluido en un punto específico.

#### **1.1.2. Muestreo**

El muestreo se utiliza para establecer las condiciones o dar una idea de cómo se encuentra el agua determinando así los aspectos alterados o fuera de los valores regulares permitidos en las normas, el muestreo se la puede realizar en diferentes puntos de los procesos, como

control de calidad se realizan tomas antes, durante y después del proceso y cada cierto tiempo, siendo este regular; para comprobar los cambios que se realizan por efecto de los procesos de tratamiento y determinar la eficiencia del proceso.

### **1.1.3. *Transporte***

Los fluidos por lo general son transportados mediante el uso de sistemas de tuberías, logrando atravesar distintos puntos con facilidad, el transporte es muy necesario porque ayuda al agua ir de un proceso a otro.

Los sistemas de transporte además de guiar son una herramienta muy beneficiosa ya que ayudan a controlar ciertas variables que dependen del fluido por ejemplo: presión, velocidad, caudal, temperatura; antes o después de los procesos pudiendo establecer condiciones de control más específicas a la entrada y salida de los procesos no solo a nivel de tratamiento de aguas sino también a nivel industrial.

### **1.1.4. *Aireación***

Es proceso de tratamiento para fomentar varios elementos como lo es agregar oxígeno al agua, separar sustancias causantes de olor y sabor, remover sustancias gaseosas volátiles y formar óxidos de hierro y manganeso.

La aireación consiste poner en íntimo contacto el agua con el aire disminuyendo de esta forma las concentraciones de elementos volátiles.

### **1.1.5. Desarenación**

Consiste en disminuir sólidos de tamaño y masa considerable que se encuentren en el agua tales como arena, lodo, basuras, y demás que puedan flotar en el agua.

El objetivo de este proceso es disminuir la carga de materia contaminante que puede llegar a obstaculizar los siguientes procesos, aumentando de esta manera el tiempo de vida de tuberías y equipos y disminuyendo costos de mantenimiento.

Los factores que intervienen en la desarenación son las siguientes:

- ✓ Grosor y masa de las partículas.
- ✓ Tamaño del tanque.
- ✓ Técnicas de acción en el decantador.
- ✓ Período de detención.

### **1.1.6. Coagulación**

Consiste en la adición de un químico coagulante como (sulfato o Policloruro de aluminio, u otra sustancia que coagule); estos elementos son capaces de disolverse y generar la desestabilización de sustancias coloidales neutralizando sus cargas y dando un precipitado llamado floculo.

El proceso de coagulación se ve afectado por el tiempo de disociación del coagulante para que las reacciones se efectúen, es por eso que es necesario la agitación del floculante o procesos de potabilización una mezcla rápida.

Comúnmente la mezcla del coagulante con el agua a tratar se realiza en mezcladores de acción rápida, o canales parshall certificando que la mezcla es uniforme, completa y sin

la presencia de espacios sin el coagulante; es por eso que esta acción de mezcla se realiza en zonas donde la agitación del agua es muy fuerte o turbulenta (mezcla rápida).

#### **1.1.6.1. TIPOS DE COAGULANTES**

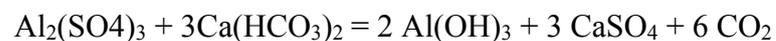
Los coagulantes principalmente utilizados son las sales de aluminio y de hierro, tienen la ventaja de actuar como coagulantes y floculantes al mismo tiempo.



##### **1.1.6.1.1. Sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )**

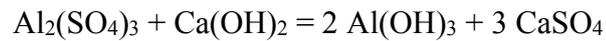
También conocido como Alumbre o Sulfato de alúmina, su efectividad óptima se tiene en intervalos de pH 6 a 8. Produce un floculo pequeño y esponjoso, es muy frecuente en la potabilización de aguas en la reducción de coloides orgánicos y fosfatos.

Cuando se añade sulfato de alúmina al agua que contiene alcalinidad de carbonato ácido de calcio y magnesio, la reacción que tiene lugar es la siguiente:



La reacción es análoga cuando se sustituye el bicarbonato cálcico por la sal de magnesio.

- **Con cal:**



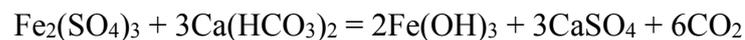
**Dosis:** se necesita de cal un tercio de la dosis de sulfato de alúmina comercial.

**Dosis:** se necesita entre el 50 y el 100% de la dosis de sulfato de aluminio comercial.

#### 1.1.6.1.2. Sulfato férrico ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ )

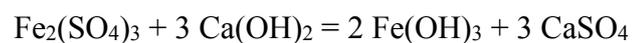
Se utiliza a intervalos de pH 4 a 11, es muy usado en el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales. Su uso en potabilización de aguas en ciertos casos puede provocar un problema de coloración.

- **Con la alcalinidad natural:**



**Dosis:** de 10 a 150 g/m<sup>3</sup> de reactivo comercial  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$

- **Con cal:**

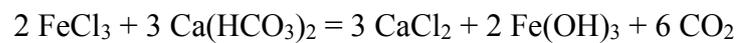


**Dosis de cal:** el 50% de la dosis de sulfato férrico.

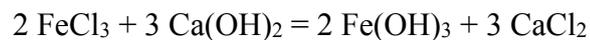
#### 1.1.6.1.3. CLORURO FÉRRICO ( $FeCl_3$ )

Es similar al sulfato férrico, solo que su rango de pH es más limitado de 4 a 8. Es energético y puede presentar problemas de coloración en las aguas.

- **Con la alcalinidad natural:**



- **Con cal:**



La selección del coagulante y la dosis exacta necesaria en cada caso, sólo puede ser determinada mediante pruebas de jarras en laboratorio (Jar Test).

#### 1.1.6.1.4. Policloruro de aluminio ( $Al(OH)_2 Cl . nH_2O$ )

Es un derivado polimérico del aluminio se emplea como coagulante primario en los procesos de tratamiento de aguas potable, reemplazando la necesidad de otros compuestos químicos como reguladores de pH, ayudas de coagulación y filtración

## **Ventajas y desventajas del Policloruro de Aluminio.**

- Deja menor residuos de aluminio.
- Rápida formación de flóculos.
- Tiempo corto de reacción y sedimentación.
- Reducción de lodos de un 25% a un 75%.
- Menor costo de operación.
- Mejora la remoción de turbidez y color.

El proceso de coagulación de se utiliza en aguas denominadas crudas, ya que estas son halladas en naturalmente sin procesos de purificación a excepción de los procesos naturales, que contengan sólidos en suspensión y solidos disueltos.

- Los sólidos en suspensión son considerados elementos sobrantes después que el agua haya sido sedimentada, y estos tienden a poseer una masa considerable para sedimentarse en periodos de tiempo mayores; como bacterias, limos. Los cuales tienen un efecto negativo en la turbiedad y color del agua.
- Los sólidos disueltos corresponden a la materia tanto orgánica como inorgánica que no pueden ser visibles a simple vista ya que su tamaño es menor a los  $2\mu\text{m}$ , formando parte de la presencia de color, sabor y olor, estos solidos son procesados para su eliminación mediante procesos físico-químicos.

En conclusión la coagulación ayuda a que las aguas se vean afectadas positivamente en:

- ✓ El color.
- ✓ La turbiedad.
- ✓ Las bacterias.

- ✓ Los virus.
- ✓ Las algas.

### **1.1.7. Mezcla rápida**

La mezcla rápida es un proceso que se utiliza en tratamiento de potabilización de aguas, al momento de añadir un coagulante para que este sea lo más eficaz posible este debe mezclarse lo más uniformemente en todo el volumen de agua, los métodos o dispositivos utilizados para la mezcla rápida pueden ser Hidráulicos o Mecánicos.

#### **1.1.7.1. Hidráulicos**

##### **1.1.7.1.1. Canal parshall**

El canal o canaleta parshall es un segmento en el que mediante las pendientes de su estructura así como el encogimiento en la garganta se produce un resalto hidráulico de flujo turbulento por efecto del cambio rápido de las pendientes; en la aplicación del proceso se lo utiliza tanto como aforador para medir el caudal de afluentes y realizar la mezcla rápida del coagulante.

##### **1.1.7.1.2. Resalto hidráulico con vertederos**

Comúnmente son utilizados con frecuencia para realizar la mezcla rápida por el cambio de altura en segmento determinado, los canales rectangulares en vertederos presentan profundidades del agua rápidamente antes y después del resalto.

En forma general son utilizados tanto por el aspecto económico ya que no requiere de energía extra para que el agua pase a través del vertedero, la formación de los resaltes varían de acuerdo a las alturas que se diseñen, este depende así en forma directa del NUMERO DE FROUDE (Número adimensional que relaciona las fuerzas de inercia y la gravedad que afectan a un fluido).

#### **1.1.7.1.3. Mezcladores en línea.**

Es la denominada mezcla rápida con placa orificio se utiliza en la misma línea de transporte ya que se manipula el gradiente hidráulico a beneficio, dado por las pérdidas de carga por fricción.

El proceso en general consiste en pasar por una sección un caudal a una velocidad determinada así mediante la ley de la continuidad el caudal es igual, pero para satisfacer esta, el agua que atraviesa el orificio de menor área y su velocidad aumenta al pasar por dicha área generando así la mezcla rápida.

Es decir al pasar un volumen de agua por un área menor lo que hacemos es que las moléculas se unan y al aumentar la velocidad la cinética de la mezcla es evidente.

#### **1.1.7.2. Mecánicos**

La mezcla rápida mediante dispositivos mecánicos son utilizados en tanques de mezcla, para estos procesos es necesaria una fuente de energía para mover las paletas del agitador, por lo que este proceso se hace un poco más costoso al momento de su implementación.

El proceso consiste en generar movimiento en contracorriente del agua que ingresa al mezclador generando de esta manera el choque de flujos y promoviendo el contacto de los coagulantes con el agua a tratar.

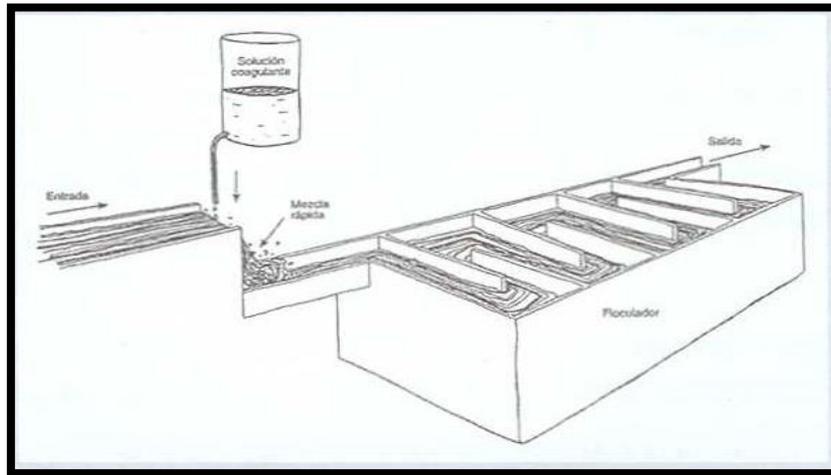
### **1.1.8. *Floculación***

El termino floculación se refiere a la unión de partículas desestabilizadas por la mezcla previa de un coagulante con agua, dándose en el interior del agua un juego de cargas positivas y negativas en colisiones frecuentes hasta poseer una masa y densidad lo suficientemente óptima para que estos lleguen a sedimentarse.

Este proceso se da a cabo en los sedimentadores que después de la formación del floculo comúnmente es por filtración.

Para obtener una buena floculación la energía requerida debe ser aprovechada de la mezcla rápida, la diferencia evidente mente viene a ser porque en la floculación la intensidad del gradiente es mucho menor.

## ILUSTRACIÓN 2: Depósito de coagulación, mezcla y floculador



Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomol/cinco.pdf>

### 1.1.9. Sedimentación.

El proceso de sedimentación está gobernado por la ley de Stokes, que indica que las partículas sedimentan más fácilmente cuanto mayor es su diámetro, su peso específico comparado con el del líquido, y cuanto menor es la viscosidad del mismo.

Por ello, cuando se quiere favorecer la sedimentación se trata de aumentar el diámetro de las partículas, haciendo que se agreguen unas a otras, proceso denominado coagulación y floculación.

#### 1.1.9.1. Tipos de sedimentadores

Comúnmente los sedimentadores suelen ser de formas rectangulares o circulares como parte de su estructura contienen dispositivos mecánicos que son utilizados para la remoción de los lodos. La forma adecuada para escoger un sedimentador es dependiendo del área y condición del terreno, las normas vigentes locales y los costos.

De forma estructural todo los sedimentadores posee una zona de entrada, zona de sedimentación, zona de recolección de lodos y zona de recolección de agua sedimentada.

### **1.1.9.2. *Sedimentadores rectangulares***

Estructuralmente son tanques rectangulares que poseen una pendiente de aproximadamente el 10% en el fondo para remover lodos, son más utilizados en la sedimentación primaria como un pequeño defecto es que la clarificación es un tanto limitada en cuanto a la remoción de sólidos.

Loa solidos como desecho del proceso de sedimentación son eliminados mediante cadenas o raspas; las raspas son por defecto los más óptimos para esta labor llevando los lodos hacia tolvas de almacenamiento las cuales pueden abarcar los lodos hasta 24 horas para luego ser tratadas mediante purgas.

### **1.1.9.3. *Sedimentadores circulares***

Como su nombre lo indica son tanques de forma circular, son utilizados para sedimentación primaria y secundaria así también para el espesamiento de lodos, en este tipo de sedimentadores en su base poseen un pendiente que va en relación de 1:12, como espesador de 1:6; el radio puede ir desde los 3m hasta los 60m como sedimentador primario y su profundidad de 2 a 3m como espesador puede ser de 3 a 4 o más metros.

Los lodos son transportados de la base mediante rastras estas son más frecuentes en procesos de sedimentación cuyo radio del taque sea hasta 15m. Mediante procesos de succión se puede abarcar hasta 60m.

### **1.1.10. Filtración**

La filtración es un método de purificación de agua más frecuente, en los casos de aplicación los filtros lentos de arena eliminando contaminantes, en tiempos en que el cólera era una enfermedad muy frecuente se debía a que el agua no tenía una condición adecuada para consumirla por lo que la filtración del agua con arena redujo la cantidad de personas que padecían la enfermedad.

Es así que las aguas al tener un aspecto muy turbio, se procesaban mediante materiales filtrantes mejorando notablemente el aspecto del agua y sus condiciones.

En el lecho de los filtros se desarrollan bacterias que son beneficiosas para y colaboran en la eliminación de elementos, estas bacterias se ubican en la superficie de los gránulos de arena y el agua contaminada al pasar por estas superficies se ponen en contacto con dichas bacterias y estas utilizan como alimento a los contaminantes presentes.

Para que la filtración tenga un buen rendimiento los aspectos que se deben tomar en cuenta son:

- ✓ El área del medio filtrante
- ✓ Tiempo de retención.
- ✓ Una caída de presión para permitir el paso del agua por el medio filtrante.

#### **1.1.10.1. Tipos de filtración**

De forma general los sistemas de filtración consisten en pasar el agua por medios o lechos granulares, que posean porosidad para permitir el paso del volumen de agua, reteniendo en su distribución elementos químicos y microbiológicos de tamaños superiores a los

espacios intergranulares aunque en casos de filtración primaria para agua contaminadas con sustancias no tóxicas de gran tamaño se suele utilizar mallas con pequeñas porosidades.

Para la conformación del lecho filtrante se utilizan materiales como arena, grava, gravilla, piedras e incluso resinas que pueden ser catiónicas o aniónicas, e incluso combinaciones de estas teniendo en cuenta que la granulometría debe ser de mayor a menor conforme aumenta la profundidad; existen casos en que la granulometría es inversa a lo expuesto no es muy frecuente.

De esta manera se puede establecer varias clases de filtración:

- ✓ Filtración directa: utilizando
- ✓ Filtración convencional
- ✓ Filtración lenta con arena
- ✓ Filtración de alta tasa.
- ✓ Filtración de cerámica
- ✓ Filtración biológica con arena

#### **1.1.11. *Desinfección***

La calidad microbiológica del agua potable se puede mejorar considerablemente protegiendo la fuente y tratando el agua cruda, en particular si se emplea el filtrado lento de arena. Sin embargo en los casos en los que las aguas crudas no son de buena calidad, es indispensable aplicar alguna forma de desinfección para poder tener la seguridad de que el agua es inocua desde el punto de vista microbiológico.

Los métodos de desinfección pueden ser físicos o químicos.

Entre los métodos químicos figura:

- ✓ La adición de ozono y más comúnmente,
- ✓ El cloro y sus derivados

El ozono no es muy frecuente en la desinfección del agua, se debe a que es muy inestable y su costo de adquisición es elevado; por ende se utilizan muy a menudo otras sustancias más económicas y de fácil manejo como lo es el cloro.

El cloro es un agente oxidante que reacciona rápidamente con la materia orgánica e inorgánica.

El cloro es un agente muy oxidante y corrosivo que afecta a los lípidos en las paredes celulares, el cloro reacciona oxidando a las bacterias esta acción mata y las deja inofensivas.

El cloro dentro del agua produce reacciones dando lugar a muchas formas en especial el hipoclorito y ácido hipocloroso y estos 2 compuestos forman el denominado cloro libre.

El hipoclorito cálcico ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ) es un sólido blanco con contenido entre el 20 y el 70% de cloro activo. Es muy corrosivo y que puede inflamarse al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos. Sin embargo, presenta dos ventajas respecto al hipoclorito sódico, su mayor contenido en cloro y su mayor estabilidad. Para ser utilizado, se diluye con agua para obtener una solución de concentración más manejable, por ejemplo, 2%.

## **1.2. Potabilización del agua subterránea.**

### **1.2.1. *Variables en la caracterización del agua del pozo***

En la caracterización del agua, estableceremos un estudio de línea base para determinar las condiciones en las que se encuentre el agua subterránea. Para esto se considera el uso de ciertas variables como son:

#### **1.2.1.1. *Caudal***

Permite saber la cantidad de agua con la que se abastecerá el proceso, y ayudara a determinar la dosificación de ciertas sustancias (floculantes y desinfectantes).

##### **1.2.1.1.1. *Métodos de medición de caudales***

###### **1.2.1.1.1.1. *Métodos volumétricos***

Los métodos volumétricos son aquellos en los que se recolecta un volumen determinado de agua con respecto a un tiempo, este método se realiza mediante las repeticiones aforados para tomar valores y luego determinar una media, la cual será el caudal aproximado al real.

#### **1.2.1.1.1.2. Método velocidad por superficie**

Consiste en la medición de la velocidad de una determinada corriente de agua que pasa por el área de una sección transversal de un canal. Mediante un concepto operacional que define este método es que el caudal es igual al producto entre la velocidad del agua y la sección superficial que esta pasa.

#### **1.2.1.1.1.3. Método mecánico**

Consiste en la utilización de instrumentos que posean un sensor o molinete que determine la velocidad del agua en un punto específico, por lo que son necesarias varias mediciones para determinar el caudal total. Ya que el agua al recorrer una sección su velocidad es diferente mientras se acerca al centro del volumen de agua.

#### **1.2.1.1.1.4. Método colorimétrico**

No es muy frecuente su utilización ya que su medición no es precisa, consiste en la adición de un colorante de distinto color al fluido, y determinar el tiempo que recorre una longitud y área establecida, de esta manera se puede determinar la velocidad del fluido y por ende su caudal.

#### **1.2.1.2. Área del terreno**

El área del terreno es factor importante para establecer el tamaño de los equipos y la ubicación geográfica de los mismos.

### **1.2.1.3. Dimensiones de los lugares de tratamiento**

Dependiendo de la cantidad de agua a tratar podemos determinar las dimensiones de los lugares de tratamiento como el floculador, el filtro, la preparación de la solución floculante o el depósito de mezclado del floculante.

#### **1.2.1.3.1.1. Desinfectante**

Es necesaria la presencia de desinfectantes en el agua cuya cantidad se encuentra bajo ciertos límites permisibles en la norma a utilizar, el desinfectante más utilizado es el Cloro ya sea gaseoso o en pastillas, por su efectividad y costo.

#### **1.2.1.3.1.2. Factores que influyen en la desinfección**

##### **1.2.1.3.1.3. Tiempo y Concentración**

Estos son factores que influyen mucho en la desinfección del agua, ya que según estos se toma en consideración el periodo de reacción del cloro y la cantidad y clase de cloro residual. Si se usa cloro combinado (hipoclorito de sodio  $\text{NaClO}$ ) el cual es un desinfectante débil, se requiere una mayor concentración actuando en un mayor tiempo.

Por otro lado, si se va a mantener cloro residual libre, el cual es más activo, el periodo de reacción y la concentración a utilizar es menor.

#### **1.2.1.3.1.4. Temperatura:**

La temperatura afecta notablemente a la acción desinfectante del cloro residual, ya que a temperaturas bajas se ve disminuida la actividad del cloro y a temperaturas altas su actividad es mayor.

Es decir a una temperatura de 4,5°C, en comparación con una temperatura de 21°C, teniendo los demás factores en las mismas condiciones, la concentración del cloro residual combinado debe ser del doble de la concentración del cloro residual libre.

#### **1.2.1.3.1.5. pH**

Este factor afecta la acción desinfectante del cloro, específicamente del cloro residual combinado. A un pH de 6,5 y una temperatura de 21°C, 0,3 mg/L de dicho cloro tiene un efecto letal sobre los microorganismos del 99,9%. A la misma temperatura a un pH de 7,0 el cloro residual combinado debe aumentarse hasta 0,6 mg/L, y a un pH de 8,5 debe aumentarse hasta 1,2 mg/L logrando así el mismo efecto sobre los microorganismos.

### **1.2.2. *Propiedades físico-químicas del agua***

Mediante la determinación de las condiciones físico-químicas del agua, se determina y fija los parámetros a controlar en el tratamiento del agua; así se establecen los procesos unitarios para tratar el agua, mediante los datos y simulación de los procesos obtenidos experimentalmente.

### **1.2.2.1. *Propiedades físicas***

#### **1.2.2.1.1. *Sabor y Olor***

Estos son parámetros denominados organolépticos estos parámetros o características son evaluados a consideración del laboratorista encargado, ya que no existe variedad en instrumentos, registros o algún tipo de unidad al momento de medirlos.

En lo que es agua potable o de consumo humano se puede relacionar con los cloruros ya que al tener una concentración mayor a 300ppm existe la presencia de un sabor salado; lo cual es un índice de contaminación, con respecto a cantidades de sulfatos mayores a 450ppm se tiene un sabor amargo y presencia de mal olor.

Debemos tener muy en cuenta que el agua no debe tener ni sabor ni olor.

#### **1.2.2.1.2. *Color***

El color es un parámetro que indica la capacidad de que ciertos elementos son capaces de absorber radiaciones correspondientes al espectro visible. Las causas suelen ser muy diferentes por lo tanto no podemos culpar a un componente específico, aunque por otro lado ciertos colores dan una idea de la fuente posible que los induce, especialmente en aguas naturales.

De forma categórica agua pura es muy incolora y aparece como azulada en grandes acumulaciones.

Comúnmente luce colores provocados por materiales orgánicos de los suelos vegetales:

- Color amarillento por los ácidos húmicos (son elementos vitales del humus, materia orgánica del suelo).
- Color rojizo, frecuentemente representa la presencia de hierro.
- Color negro muestra la presencia de manganeso.

El color no significa que el agua esté contaminada pero estéticamente la hace deplorable ante nuestros ojos. El parámetro de color en el agua viene dada en unidades PtCo (unidades de platino y cobalto) en aguas subterráneas a menudo el máximo es de 15 PtCo por encontrarse lejos de la contaminación ambiental, a diferencia de las aguas en la superficie que puede llegar a tener valores mayores.

#### **1.2.2.1.3. Turbidez**

Corresponde a la problemática que posee el agua para transmitir luz esto se debe a los materiales en suspensión o coloidales. En general son muy difíciles de filtrar y pueden dar lugar a depósitos en las conducciones.

El cálculo se hace mediante una célula fotoeléctrica dando los valores en unidades de NTU y FTU (Unidades de Turbidez Nefelométricas, Unidades de Turbidez Formazin respectivamente), existen numerosos tipos de turbidímetro.

Los procesos de tratamiento a este problema son coagulación, decantación y filtración.

#### **1.2.2.1.4. Conductividad y Resistividad**

La conductividad eléctrica es la medición que tiene el agua para conducir la electricidad y la resistividad es la medida inversa. Son indicadores de presencia de materia ionizable en el agua. El agua pura esencialmente no conduce la electricidad; por ende la

conductividad que se logre medir es consecuencia de las contaminaciones presentes en el agua. Este es un parámetro físico excelente para medir determinar la calidad del agua.

El instrumento para realizar las mediciones se denomina conductimetro, y fundamentalmente lo que realiza es medir la dificultad que provoca al paso de la corriente entre dos electrodos que se colocan en la muestra de agua.

Las unidades en las que se mide la resistividad es el Ohm, y al describir la conductividad es el Siemens, pero como su submúltiplo el micro siemens por cm ( $\mu\text{S/cm}$ ).

A continuación la tabla 1 indica la medida o la composición del agua.

**TABLA 1: Conductividad**

<b>Conductividad</b>	
Temperatura de la muestra 25 °C	<b>Conductividad (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b>
<b>Agua Ultra pura</b>	0,05
<b>Para calderas</b>	1 a 5
<b>Agua de Consumo</b>	50 - 100

Fuente: ANÁLISIS DE AGUAS STADAR METHODS  
Realizado por: Juan Carlos Hidalgo.

### 1.2.3. *Parámetros químicos*

#### 1.2.3.1. *Ph*

El pH es la concentración de los iones de hidrogeno determinado como el logaritmo de dicha concentración al exponente -1; indica la naturaleza del agua y puede ser ácida o alcalina.

Comúnmente las aguas naturales tienen un pH que oscila entre 6 y 8.

#### **1.2.3.2. Dureza**

Es producida por la presencia de sales de calcio y magnesio; y determina la facultad de un agua para provocar incrustaciones. Afecta tanto a las aguas domésticas como a las industriales y es uno de los parámetros fundamentales que se deben controlar.

Como referencia se sabe que aguas de concentraciones alrededor de 50ppm de dureza son blandas y aguas dependiendo las normas que se manejen pueden ser duras por encima de los 200ppm.

Es común encontrar aguas con 300 ppm de dureza, pero pueden sobrepasar ese valor en más de mil ppm.

#### **1.2.3.3. Alcalinidad**

Es un parámetro que indica la factibilidad de neutralizar ácidos. Favorecen, especialmente, a la alcalinidad del agua los iones bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), y oxidrilo ( $\text{OH}^-$ ), así también ácidos de carácter débil (fosfatos, ácido silícico u otros). Se mide en las mismas unidades que la dureza ppm.

#### **1.2.3.4. *Acidez mineral***

La acidez es la capacidad para neutralizar bases. Es bastante raro que las aguas naturales presenten acidez, no así las superficiales. Es responsable de corrosión se mide en las mismas unidades que la alcalinidad y se corrige por neutralización con álcalis.

#### **1.2.3.5. *Sólidos Disueltos***

Los sólidos disueltos o salinidad total, es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua. El origen puede ser múltiple tanto en las aguas subterráneas como en las superficiales. Para las aguas potables se fija un valor máximo deseable de 500 ppm, este dato por sí sólo no es suficiente para catalogar la bondad del agua. El proceso de tratamiento, entre otros, es la ósmosis inversa.

#### **1.2.3.6. *Sólidos en Suspensión***

Se suelen separar por filtración y decantación. Son sólidos sedimentables, no disueltos, que pueden ser retenidos por filtración. Las aguas subterráneas suelen tener menos de 1 ppm, las superficiales pueden tener mucho más dependiendo del origen y forma de captación.

#### **1.2.3.7. *Sólidos Totales***

Es la suma de los sólidos disueltos y en suspensión.

#### **1.2.3.8. Cloruros**

El ión cloruro  $\text{Cl}^-$ , forma sales muy solubles, suele asociarse con el ión  $\text{Na}^+$  esto lógicamente ocurre en aguas muy salinas. El contenido de cloruros en agua dulce oscila entre el 10 y 250 ppm, pero también se encuentran valores muy superiores fácilmente. Las aguas salobres contienen millares de ppm de cloruros, el agua de mar está alrededor de las 20.000 ppm de cloruros.

#### **1.2.3.9. Sulfatos**

El ión sulfato ( $\text{SO}_4^{=}$ ), corresponde a sales de moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces contienen entre 2 y 250 ppm y el agua de mar alrededor de 3.000 ppm.

Recordemos, como ya se ha dicho, que el agua pura se satura de  $\text{CaSO}_4$  a unas 1.500 ppm, lo que ocurre es que la presencia de otras sales de calcio aumenta la solubilidad. En cantidades bajas no perjudica seriamente al agua pero algunos centenares de ppm pueden perjudicar seriamente la resistencia del hormigón.

#### **1.2.3.10. Nitratos**

El ión nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) forma sales muy solubles y estables. En un medio reductor puede pasar a nitritos, nitrógeno e incluso amoníaco. Las aguas normales contienen menos de 10 ppm, y el agua de mar hasta 1 ppm.

Aguas con infiltraciones de zona de riego con contaminación por fertilizantes pueden tener hasta varios centenares de ppm. Concentraciones muy elevadas en agua de bebida puede producir la cianosis infantil. Su presencia junto con fosfatos, en aguas superficiales, provocan la aparición de un excesivo crecimiento de algas es lo que se conoce como eutrofización.

#### **1.2.3.11. Fosfatos**

El ión fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) en general forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico. Como procede de un ácido débil contribuye, a la alcalinidad del agua. No suele haber en el agua más de 1 ppm, salvo en los casos de contaminación por fertilizantes.

#### **1.2.3.12. Fluoruros**

El ión fluoruro ( $\text{F}^-$ ), corresponde a sales de solubilidad muy limitada, suele encontrarse en cantidades superiores a 1 ppm. Hay quien mantiene que alrededor de dicha concentración puede resultar beneficioso para la dentadura.

#### **1.2.3.13. Bicarbonatos**

Los iones bicarbonato  $\text{HCO}_3^-$ , carbonato  $\text{CO}_3^{2-}$ , el  $\text{CO}_2$  gas y el  $\text{CO}_2$  disuelto se encuentran juntos en un ciclo de equilibrio. Este se ve dependiendo del pH; específicamente estos iones se ven relacionados con la alcalinidad.

#### 1.2.3.14. Calcio

El ión calcio,  $\text{Ca}^{2+}$ , forma sales generalmente poco solubles, en algunos casos de solubilidad muy moderada pero la mayoría son muy insolubles. Es el principal componente de la dureza del agua y causante de incrustaciones. Aproximadamente las aguas de consumo pueden llegar a tener entre 10 – 250 ppm y máximo 600 ppm.

#### 1.2.3.15. Hierro

Es un catión muy importante desde el punto de vista de contaminación, aparece en dos formas: ión ferroso,  $\text{Fe}^{2+}$ , o más oxidado como ión férrico,  $\text{Fe}^{3+}$ . La estabilidad y aparición en una forma u otra depende del pH, condiciones oxidantes o reductoras, composición de la solución. Afecta a la potabilidad de las aguas y es un inconveniente en los procesos industriales por provocar incrustaciones.

Por todo lo anterior, las aguas subterráneas sólo contienen el ión ferroso disuelto, que suele aparecer con contenidos entre 0 y 10 ppm, pero al airear el agua se precipita el hidróxido férrico de color pardo-rojizo, y se reduce el contenido a menos de 0,5 ppm. Para que parezcan contenidos de hierro de varias docenas de ppm hacen falta que el medio sea ácido.

**TABLA 2: NORMA DE LOS PARÁMETROS FÍSICO- QUÍMICOS**

PARAMETRO	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
<b>Inorgánicos</b>		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN <sup>-</sup>	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 <sup>1)</sup>
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO <sub>3</sub>	mg/l	50
Nitritos, NO <sub>2</sub>	mg/l	0,2
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α *	Bq/l	0,1
Radiación total β **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,01

<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  
\* 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  
\*\* 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

Fuente: Norma NTE INEN 1108: 2011, cuarta versión del 2006

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

#### 1.2.4. Propiedades microbiológicas del agua

De todo el mundo es conocido que el "gran enemigo" es la bacteria Escherichia Coli y el grupo de los Coliformes en su conjunto.

Dependiendo de la cantidad de microorganismos (Coliformes fecales y Coliformes totales establecidos en la norma NTE INEN 1108: NTE INEN 1108 2006, 2011, se dosificará la cantidad de desinfectante necesario para disminuir dichos microorganismos y considerarla como agua apta de consumo humano.

La medición se hace empleando técnicas estadísticas "número más probable" (índice NMP) en 100 mL de agua.

Las aguas con un NMP inferior a 1 son satisfactoriamente potables.

**TABLA 3: Norma de los Parámetros Microbiológicos**

	Máximo
Coliformes fecales <sup>(1)</sup> :	
- Tubos múltiples NMP/100 ml ó	< 1,1 *
- Filtración por membrana UFC/ 100 ml	< 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/100 litros	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/100 litros	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm <sup>3</sup> ó 10 tubos de 10 cm <sup>3</sup> ninguno es positivo	
** < 1 significa que no se observan colonias	
<sup>(1)</sup> ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida	

Fuente: Norma NTE INEN 1108:2011 cuarta versión del 2006

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

### 1.3. Diseño

El diseño de nuestra planta se basa en utilizar los procesos de almacenamiento de agua en un tanque reservorio considerando la población y el consumo de agua por persona al día (80 L / p/día).

#### 1.3.1. *Diseño del tanque cúbico de recolección*

##### 1.3.1.1. *Cálculo de los lados del tanque*

Es un contenedor que sirve para almacenar agua, su forma común es de un cilindro pero también existen cúbicos.

De acuerdo a la tabla 37, el volumen a tratar es de 72m<sup>3</sup>, y considerando un 15% se tiene 82,8m<sup>3</sup>

$$l = \sqrt[3]{V}$$

**ECUACIÓN 1**

Donde:

l= lados del tanque (m).

V= Volumen del tanque (m<sup>3</sup>).

Sirve para almacenar volúmenes de agua, al inicio de los proceso, para posteriormente tratarla o para la recolección al final de los procesos para abastecimiento.

#### **1.3.1.2. Tiempo de llenado**

Es tiempo en que un volumen determinado es ocupado por un fluido.

$$t = \frac{V}{3600 \cdot q}$$

**ECUACIÓN 2**

Donde:

t= Tiempo de llenado del tanque recolector (s).

V= Volumen del tanque (m<sup>3</sup>).

Q= Caudal de entrada al tanque recolector (m<sup>3</sup>/s).

Determina en que tiempo se llena el volumen del tanque recolector en la captación para ser tratada en la planta. De acuerdo a la tabla 37, el volumen es de 7200L y el caudal de entrada es 1,5L/s.

### **1.3.1. *Diseño del canal parshall***

Luego del almacenamiento el agua pasa a un sistema de mezclado rápido mediante un CANAL PARSHALL, siendo utilizado como aforador para medir el caudal de abastecimiento al proceso de floculación-sedimentación y como sistema de mezcla rápida para la adición del floculante (Policloruro de Aluminio).

#### **1.3.1.1. *Lámina de agua***

Corresponde a la altura del agua con relación a la superficie por la cual está circulando, es decir, es el volumen de agua que circula en una cierta área.

$$ha = \left(\frac{Q}{k}\right)^{\frac{1}{n}}$$

**ECUACIÓN 3**

Donde:

ha = Altura de la lámina de agua (m).

Q = Caudal de entrada (m<sup>3</sup>/s).

n = Exponente adimensional Tabla 26.

k = Coeficiente adimensional Tabla 26.

Sirve para determinar la profundidad equivalente de agua con respecto al suelo del canal parshall.

### 1.3.1.2. Cálculo de la canaleta en la sección media

Es la entrada al canal parshall formando parte de la zona convergente donde las paredes se van cerrando, antes del resalto.

$$W_a = \frac{2}{3}(D - w) + w$$

**ECUACIÓN 4**

Donde:

$W_a$  = Sección media de la canaleta (m).

$D$  = Ancho de entrada sección convergente (m).

$W$  = Ancho de la garganta (m).

Permite que el agua se eleve para luego llegar a los desniveles de la garganta ( $W$ ) para formar el resalto. Mediante los valores tabulados para el diseño del canal parshall en la Tabla 26, se determina el ancho de la canaleta en la sección media.

### 1.3.1.3. Cálculo de velocidad del agua

Es la relación entre la distancia que recorre una cierta cantidad de agua con respecto a la unidad de tiempo.

$$V_a = \frac{Q}{W_a * h_a}$$

**ECUACIÓN 5**

Donde:

$V_a$  = Velocidad del agua (m/s).

$W_a$  = Sección media de la canaleta (m).

$h_a$  = Altura de la lámina de agua (m).

La velocidad del agua es un factor determinante para calcular la dosificación de coagulante PCA necesario para formar flóculos.

#### 1.3.1.4. *Cálculo de la energía total disponible*

Es la capacidad que tiene el agua para moverse sin necesidad de dispositivos que la hagan fluir, la energía que comúnmente tiene el agua es cinética y potencial.

$$E_2 = E_1$$

Energía sección 1

Ley de Bernoulli

$$E_1 = \frac{V_a^2}{2g} + h_a + N$$

**ECUACIÓN 6**

Donde:

$N$  = Diferencia de elevación entre salida y cresta Tabla 26; (m).

$E_1$  = Energía de la sección 1 (Julios).

$h_a$  = Altura de la lámina de agua (m).

Energía sección 2

$$E_2 = \frac{V a^2}{2g} + h_2$$

**ECUACIÓN 7**

Donde:

$h_2$  = Altura de la lámina de agua en la sección 2 (m).

$E_2$  = Energía de la sección 2 (Julios).

$g$  = Acción de la gravedad ( $m/s^2$ ).

Operacionalmente sirve para la determinación de la altura del agua antes en el instante ante del resalto, ya que la energía es continua dentro del canal.

#### **1.3.1.5. Cálculo de la velocidad en la sección 2**

Es la relación entre la distancia que recorre una cierta cantidad de agua con respecto a la unidad de tiempo.

$$V_2 = \frac{Q}{W * h_2}$$

**ECUACIÓN 8**

Donde:

$V_2$  = Velocidad del agua en la sección 2 (m/s).

$W$  = Ancho de la garganta Tabla 26. (m)

$h_2$  = Altura de la lámina de agua en la segunda sección (m).

$g$  = Acción de la gravedad ( $m/s^2$ ).

En esta sección el agua sufre una pequeña variación, ya que al entrar al resalto la cinética sirve para producir eficazmente la mezcla rápida.

#### **1.3.1.6. Determinación de la lámina del resalto**

Es la altura del agua con relación a la superficie por la cual está circulando, es decir, es la altura de agua que circula en el área de mayor turbulencia.

$$h_b = h_2 - N$$

**ECUACIÓN 9**

Donde:

$N$  = Diferencia de elevación entre salida y cresta Tabla 26 (m).

$h_2$  = Altura de la lámina de agua en la segunda sección (m).

$h_b$  = Lámina de resalto (m).

Sirve para estimar la profundidad del agua en un flujo crítico, donde se da la mezcla rápida por acción de los desniveles y la energía que obtiene el agua.

### 1.3.1.7. Chequeo del grado de sumergencia

Es un parámetro de diseño de los canales parshall, determina que el flujo de agua forme el resalto con características adecuadas para el mezclado rápido.

$$S > \frac{h_b}{h_a} \quad \text{ECUACIÓN 10}$$

Donde:

$h_b$  = Lámina de resalto (m).

$h_a$  = Altura de la lámina de agua (m).

$S$  = Grado de sumergencia según la Tabla 39 ( $s^{-1}$ ).

Sirve para controlar que el diseño del canal sea adecuado para la adición del coagulante y formar la mezcla homogénea.

### 1.3.1.8. Cálculo del número de Froude

Es la relación entre las energías de inercia con las de gravedad que actúan sobre un fluido dando lugar a un resalto.

$$F_2 = \sqrt{\frac{V_2^2}{h_2 \cdot g}} \quad \text{ECUACIÓN 11}$$

Donde:

$g$  = Acción de la gravedad. ( $m/s^2$ )

$h_2$  = Altura de la lámina de agua en la segunda sección (m).

$V_2$  = Velocidad del agua en la sección 2 (m/s)

$F$  = Número de Froude en la sección 2. (Relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y la fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido.)

Sirve para saber el estado del resalto, si es supercrítico, crítico o estable. El resalto se presenta para valores mayores a  $F= 1.44$  y son estables en valores es entre 1.7 y 2.5 (ATHA, manual Resalto Hidráulico. C445)

### **1.3.1.9. Cálculo de la lámina de agua al final del trecho divergente**

#### **Aplicando la ecuación del resalto hidráulico**

$$h_3 = \frac{h_2}{2} \left( \sqrt{1 + 8F_2^2} - 1 \right)$$

**ECUACIÓN 12**

Donde:

$h_2$  = Altura de la lámina de agua en la segunda sección 2 (m).

$h_3$  = Altura de la lámina de agua en la sección 3 (m).

$F$  = Número de Froude en la sección 2. (Relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y la fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido.)

Como ya se indico es la altura de agua con respecto al suelo por la cual circula, en este caso al final de la sección divergente después del resalto.

### **1.3.1.10. Cálculo de la lámina de agua al final de la canaleta**

Corresponde a la altura del agua con relación a la superficie por la cual está circulando, es decir, es el volumen de agua que circula en una cierta área.

$$h_4 = h_3 - (N - K)$$

**ECUACIÓN 13**

Donde:

$h_3$  = Altura de la lámina de agua en la sección 3 (m).

$h_4$  = Altura de la lámina de agua en la sección 4 (m).

$N$  = Diferencia de elevación entre salida y cresta Tabla 26 (m).

$K$  = Long. Paredes sección divergente Tabla 26 (m).

Determina la altura entre todos los desniveles, de la lámina de agua a la salida del canal parshall.

### **1.3.1.11. Cálculo del tiempo medio de mezcla**

#### **1.3.1.11.1. Cálculo de la velocidad media**

Es el promedio entre dos velocidad en un tramo delimitado.

$$V_m = \frac{V_4 + V_3}{2}$$

**ECUACIÓN 14**

Donde:

$V_m$  = Velocidad media (m/s).

$V_4$  = Velocidad en la sección 4 (m/s).

$V_3$  = Velocidad en la sección 3 (m/s).

Sirve para estimar la velocidad aproximada entre los tramos 3 y 4, es necesario ya que existen cambios de velocidad repentinos para efecto del resalto.

#### **1.3.1.11.2. Tiempo medio de mezcla**

Es el tiempo estimado en que ocurren fenómenos de distinta naturaleza como desplazamiento, mezcla, o transporte de materia.

$$t_{\bar{m}} = \frac{G'}{V_m}$$

**ECUACIÓN 15**

Donde:

$V_m$  = Velocidad media (m/s).

$t_{\bar{m}}$  = Tiempo medio de mezcla (m/s).

$G'$  = Longitud de la sección divergente tabla 26 (m/s).

Determina el tiempo de la mezcla en el resalto, debe ser muy rápido, es decir un tiempo bien corto

#### **1.3.1.12. Principio de energía de Bernoulli para determinación de pérdidas**

La ecuación de Bernoulli expresa la continuidad de la energía a partir de la condición, el caudal que entra es igual al que sale entre dos secciones en la conducción de un fluido.

$$\frac{Va^2}{2g} + ha + N = \frac{V_4^2}{2g} + h_4 + (N - K) + \Delta h \quad \text{ECUACIÓN 16}$$

Donde:

$\Delta h$  = Pérdida de carga (m).

$g$  = Acción de la gravedad (m).

$N$  = Diferencia de elevación entre salida y cresta Tabla 26 (m).

$K$  = Long. Paredes sección divergente Tabla 26 (m).

A partir de la ecuación de Bernoulli determinamos las pérdidas de causadas por la fricción del fluido con las paredes del canal.

#### **1.3.1.13. Gradiente de velocidad**

Es una medida del desorden producido en la rotación y en el cambio de movimiento lineal o angular por un fluido en movimiento.

Según la tabla 39, el gradiente para mezcladores rápidos oscila el intervalo 500 a 2000.

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * \Delta h}{\mu * t\bar{m}}}$$

**ECUACIÓN 17**

Donde:

$\Delta h$  = Perdida de carga (m).

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

$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido Tabla 38 (Pa.s)

$\gamma$  = Peso específico del fluido Tabla 38 ( $N/m^3$ )

$t\bar{m}$  = Tiempo medio de mezcla (s)

Sirve para establecer si el movimiento de las partículas del agua logra moverse lo suficiente para lograr la cinética de la mezcla rápida.

**1.3.1.14. Cálculo de la elevación de la cresta por encima del fondo del canal "x"**

Corresponde al desnivel a la salida del canal parshall el cual logra un amortiguamiento al flujo del agua. Se fija con la estructura aguas abajo con un factor de seguridad del 15%.

$$X = h_5 - h_4$$

**ECUACIÓN 18**

Donde:

$X$  = elevación de la cresta por encima del canal (m).

$h_5$  = Altura de la lámina de agua en la sección 5 (m).

Es parte del diseño del canal parshal, es el desnivel del canal que sirve para regular la lámina de agua a la salida.

#### **1.3.1.15. Longitud de desarrollo del resalto**

Corresponde a la distancia comprendida entre la zona convergente y divergente.

$$L = 6(h_3 - h_2) \qquad \text{ECUACIÓN 19}$$

Donde:

$L$  = longitud del resalto (m).

$h_3$  = Altura de la lámina de agua en la sección 3 (m).

$h_2$  = Altura de la lámina de agua en la sección 2 (m).

Sirve para calcular la distancia adecuada para la zona en la que se realizara la mezcla rápida.

#### **1.3.1.16. Datos de salida del canal parshall**

Son valores de variables o características al final de un proceso, pueden ser caudal, temperatura, flujos de velocidad.

$$Q_s = V_4 * C * h_a \qquad \text{ECUACIÓN 20}$$

Donde:

$Q_s$  = Caudal de salida del canal Parshall ( $m^3/s$ )

$V_4$  = Velocidad en la sección 4 (m/s)

$A$  = Área de la sección de salida ( $m^2$ )

$C$  = Ancho de salida (m)

$h_a$  = Altura de lámina de agua por encima del resalto (m)

A la salida del canal parshall el caudal y la velocidad son los datos de entrada para el siguiente proceso el floculado.

### **1.3.1.17. Cálculos de la dosificación de PCA (Policloruro de Aluminio)**

#### **1.3.1.17.1. Volumen de agua a tratar**

Es la cantidad de agua cruda estimada, que pasa en un intervalo de tiempo.

$$V = 3600 \times Q_{CP} \cdot t$$

**ECUACIÓN 21**

Donde:

$V$  = Volumen de agua en la zona antes del resalto ( $m^3$ )

$Q_{CP}$  = Caudal que pasa por el canal parshall ( $m^3/s$ ),

$t$  = intervalo de tiempo para adición de PCA (m/s).

Sirve para deducir la cantidad de agua a tratar, en un tiempo de 12 horas y establecer la cantidad del coagulante en la mezcla rápida.

#### 1.3.1.17.2. Cálculo de la cantidad de PCA

Es el volumen de sustancia a utilizar por cada unidad de volumen de agua a tratar.

$$V_{PCA\ 3,5\%} = \frac{V \times VE_{pca}}{VE_C} \quad \text{ECUACIÓN 22}$$

Donde:

$VE_{PCA\ 3,5\%}$  = Volumen de agua en la zona antes del resalto ( $m^3$ ).

$VE_{PCA}$  = Volumen experimental de PCA ( $m^3$ ).

$VE_C$  = Volumen experimental de agua cruda ( $m^3$ ).

Calcula la dosificación de PCA al 3,5% para la cantidad de agua que pasa por el canal parshall para el mezclado rápido. De acuerdo a la tabla 28.

#### 1.3.1.17.3. Cálculo de la masa de PCA

Es la cantidad de masa de sustancia, para preparar soluciones de concentración específica.

$$M_{PCA} = \frac{3,5V_{PCA\ 3,5\%}}{100}$$

**ECUACIÓN 23**

Donde:

$V_{PCA}$  = Masa de PCA (Kg).

$VE_{PCA\ 3,5\%}$  = Volumen de agua en la zona antes del resalto ( $m^3$ ).

Sirve para calcular la cantidad de PCA necesaria en la preparación de la solución de PCA al 3,5% determinada experimentalmente para formar los flóculos.

### **1.3.3. Diseño del floculador**

#### **1.3.3.1. Área de los canales**

Es la superficie de una sección delimitada por la cual se puede mover cualquier tipo de objeto.

$$A = \frac{Q_s}{V_s}$$

**ECUACIÓN 24**

Donde:

A = Área de los canales del floculador ( $m^2$ )

$Q_s$  = Caudal de entrada al floculador ( $m^3/s$ ),

$V_s$  = Velocidad de entrada al floculador (m/s).

Sirva para calcular la zona de entrada del agua, a los canales de floculación.

### 1.3.3.2. *Determinación del volumen del floculador*

Es el espacio o la capacidad de un objeto para almacenar fluidos.

$$V_f = Q_s \cdot T_r \quad \text{ECUACIÓN 25}$$

Donde:

$V_f$  = Volumen del floculador ( $m^3$ ).

$T_r$  = Tiempo de retención (s).

$Q_s$  = Caudal de entrada al floculador ( $m^3/s$ ).

Sirve para calcular el espacio, por el cual va a fluir el agua para formarse los flóculos.

### 1.3.3.3. *Ancho total*

Es la longitud o extensión que posee un objeto.

$$B = \sqrt{\frac{V}{2.75xh}} \quad \text{ECUACIÓN 26}$$

Donde:

V= Volumen del floculador (m<sup>3</sup>).

h = Altura del floculador (m).

L = Longitud del floculador (m).

Sirve para establecer la extensión adecuada del floculador. De acuerdo a la tabla 29 la relación L/B= 2.75

#### **1.3.3.4. Determinación del ancho de las cámaras**

Es la longitud o extensión de las secciones interna de un objeto.

$$b = \frac{B}{n^{\circ} \text{ de cámara}}$$

**ECUACIÓN 27**

Donde:

B = Ancho total del floculador (m).

Consideramos a utilizar 4 cámaras.

Sirve para delimitar las cámaras de floculación, con respecto a la extensión superficial del floculador.

#### **1.3.3.5. Diseño de las cámaras**

Todas las cámaras se diseñan mediante el mismo proceso, con las mismas ecuaciones, estructuralmente los cálculos superficiales son el número de canales, el ancho de los canales, espacio entre los canales y las pantallas.

### 1.3.3.6. Determinar el número de canales de las cámaras

.

Son las secciones por las cuales circula el fluido en forma horizontal.

$$NC = 0.045 \sqrt[3]{\left(\frac{h * L * G_{f1}}{Q}\right)^2 * Tr} \quad \text{ECUACIÓN 28}$$

Donde:

G = Gradiente de velocidad del floculador ( $s^{-1}$ ).

NC = Número de canales.

$T_r$  = Tiempo de retención en minutos en el canal (s).

Determina el número de canales que se requiere para que el agua circule formando los flóculos; Según las normas AWWA  $5 < G_{f1} < 100s^{-1}$  en la tabla 29.

### 1.3.3.7. Espaciamiento entre pantalla

Es la distancia que separa dos objetos uno del otro, en este caso entre pantallas.

$$s = \frac{L}{NC}$$

**ECUACIÓN 29**

Donde:

s = Espacio entre pantallas (m).

NC = Número de canales.

L= Longitud del floculador.

La ecuación calcula la distancia a la que deben encontrarse separadas las placas por las cuales pasa el agua en forma de canales.

#### **1.3.3.8. Cálculo del espacio entre las pantallas y el muro del floculador.**

Es la distancia entre dos puntos de referencia, es decir, la distancia que separa a dos objetos.

$$B''_1 = 1.5 \times s$$

**ECUACIÓN 30**

Donde:

B''<sub>1</sub> = Distancia entre el muro y la pantalla de la cámara del floculador (m).

s = Espacio entre pantallas (m).

La ecuación calcula por seguridad la distancia entre la primera y la última pantalla de cada cámara a una distancia de seguridad del 50%.

#### 1.3.3.9. *Velocidad entre pantallas o canales*

La velocidad en las vueltas y pantallas del canal no debe ser elevado para garantizar el efecto de floculación, y obtener un floculo de tamaño adecuado para la sedimentación

$$V_p = \frac{Q_s}{s * h} \quad \text{ECUACIÓN 31}$$

Donde:

$V_p$  = Velocidad entre pantallas (m/s).

$h$  = Altura del floculador (m).

#### 1.3.3.10. *Velocidad de la vuelta*

$$V_v = \frac{2}{3} V_p \quad \text{ECUACIÓN 32}$$

Donde:

$V_v$  = Velocidad en las vueltas (m/s).

$V_p$  = Velocidad entre las pantallas (m/s).

**1.3.3.11. Longitud total recorrida en la cámara**

Corresponde a toda la longitud lineal que realiza el agua en cada cámara, como una conversión del flujo ondulado a flujo totalmente lineal.

$$L_R = 60 * V_p * T_r \quad \text{ECUACIÓN 33}$$

Donde:

$L_R$  = Longitud recorrida (m).

$T_r$  = Tiempo de retención (s).

La ecuación determina la distancia que recorre el fluido en toda la cámara hasta pasar a la siguiente.

**1.3.3.12. Cálculo de la pérdida de carga total en la cámara.**

Son las pérdidas de energía que sufre el fluido por efecto de la fricción con las paredes de la superficie por la que circula.

$$A = \frac{Q_s}{V_p} \quad \text{ECUACIÓN 34}$$

Donde:

$Q_s$  = Caudal de entrada al floculador (Caudal de salida del Canal Parshall)  
( $m^3/s$ ).

$V_p$  = Velocidad entre pantallas (m/s).

Mediante la se determina las pérdidas de energía del fluido en la cámara y estableciendo la capacidad de moverse el agua sin necesidad de energía externa.

### 1.3.3.13. *Longitud mojada*

Es la superficie de una sección por la que es específicamente agua, o solo corresponde al agua como si fuese un corte que forme un cuadrado o círculo.

$$a = \frac{A}{h_a}$$

**ECUACIÓN 35**

Donde:

$a$  = longitud mojada (m).

$h_a$  = Altura del agua en la cámara (m).

$A$  = Área mojada de la cámara ( $m^2$ ).

La ecuación corresponde a la superficie que tiene el agua en una sección del canal. Ayuda a determinar el radio hidráulico.

#### 1.3.3.14. *Perímetro mojado*

Es el contorno o la delimitación de una sección por la cual pasa un fluido.

$$P = 2h + a$$

**ECUACIÓN 36**

Donde:

P = Perímetro (m).

a = Longitud mojada (m).

La ecuación determina el contorno del canal en una sección por la cual pasa el agua.

#### 1.3.3.15. *Radio hidráulico*

Es la superficie por la cual es netamente agua en una sección.

$$Rh = \frac{A}{P}$$

**ECUACIÓN 37**

Donde:

Rh= Radio Hidráulico (m).

A = Área mojada (m<sup>2</sup>).

P = Perímetro (m).

El radio hidráulico es un factor importante ya que determina la carga de agua en los canales, siendo utilizado en la fórmula de Manning para determinar las pérdidas totales.

### 1.3.3.16. Pérdida de energía interna del canal

Son las pérdidas de energía que sufre el fluido por efecto de la fricción con las paredes de la superficie por la que circula.

$$hp_c = \left( \frac{\sqrt{L_R} * V_P * n}{Rh^{2/3}} \right)^2 \quad \text{ECUACIÓN 38}$$

Donde:

hp<sub>c</sub> = Pérdida de energía interna del canal (m).

Rh= Radio Hidráulico (m).

V<sub>p</sub> = Velocidad entre pantallas (m/s).

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

La ecuación calcula la cantidad de energía que se pierde por la fricción que existe entre el agua y la superficie del canal. Se recomienda utilizar n=0,012. Tabla 40.

### 1.3.3.17. Pérdidas de carga en las vueltas

Son las pérdidas de energía que sufre el fluido en las zonas que curva por efecto de la fricción con las paredes de la superficie por la que circula.

$$h_{p_v} = \frac{(NC + 1)V_p^2 + NC * V_v^2}{2g} \quad \text{ECUACIÓN 39}$$

Donde:

$h_{p_v}$  = Pérdida de carga en las vueltas (m).

NC = Número de canales.

$V_p$  = Velocidad entre pantallas (m/s).

$V_v$  = Velocidad en las vueltas (m/s).

g = Gravedad 9,8 (m/s<sup>2</sup>).

Determina la cantidad de energía que se pierde en las vueltas por fricción.

### 1.3.3.18. Pérdida total

Son las pérdidas de energía que sufre el fluido en forma global dentro de la cámara por efecto de la fricción con las paredes de la superficie por la que circula.

$$h_{p_T} = h_{p_c} + h_{p_v} \quad \text{ECUACIÓN 40}$$

Donde:

$h_{PT}$  = Perdida total en la cámara (m).

$h_{pv}$  = Perdida de carga en las vueltas (m).

$h_{pe}$  = Perdida de energía interna del canal (m).

Determina la pérdida total de la carga del fluido dentro de la cámara considerando las pérdidas en las vueltas y en los canales.

### 1.3.3.19. Verificación del gradiente

Es una medida del desorden producido en la rotación y en el cambio de movimiento lineal o angular por un fluido en movimiento.

$$G_{f1} = 3068,29 \left( \frac{h_{pT}}{T_r} \right)^{0,5} \quad \text{ECUACIÓN 41}$$

Donde:

$G_{f1}$  = Gradiente de velocidad del floculador en la cámara ( $s^{-1}$ ).

$h_{PT}$  = Perdida total en la cámara (m).

$T_r$  = Tiempo de retención (s).

3068,29 = Relación entre el Peso específico del agua ( $\gamma$ ) y la viscosidad

( $\mu$ ) a 20°C  $\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$

Determina si el gradiente asumido es similar o aproximado al gradiente utilizado al determinar el número de canales.

#### **1.3.4. Diseño del sedimentador**

##### **1.3.4.1. Cálculo de la longitud del sedimentador**

Es la distancia que debe tener una pared de acuerdo a ciertas variables como el área y su ancho.

$$L_2 = \frac{A_s}{B} \qquad \text{ECUACIÓN 42}$$

Donde:

$L_2$ =Longitud del Sedimentador (m).

$B$ =Ancho del Sedimentador (m).

$A_s$ =Área Superficial ( $m^2$ ).

La ecuación determina la distancia que debe tener el sedimentador de acuerdo a los datos experimentales de entrada al mismo. La pantalla difusora se debe encontrar a 0,7m- 1m (Tabla 31) lo que se debe sumar a la longitud total.

#### 1.3.4.2. *Comprobación de la relación*

Es la aplicación del cociente entre dos variables establecidas experimentalmente.

$$3 < \frac{L}{B} < 6$$

**ECUACIÓN 43**

Donde:

L = Longitud del floculador (m).

B = Ancho del floculador (m).

Ayuda a determinar si se está diseñando bien el sedimentador. Experimentalmente se determinó la relación entre la longitud y el ancho, así también la relación entre la longitud y la altura lo que ayuda al dimensionamiento adecuado del equipo según la tabla 31.

#### 1.3.4.3. *Relación entre la longitud y la altura.*

Es la aplicación del cociente entre dos variables establecidas experimentalmente.

$$5 < \frac{L}{H} < 20$$

**ECUACIÓN 44**

Considerando un factor del 15% para evitar desbordes.

Donde:

L = Longitud del floculador (m).

H = Altura del floculador (m).

Ayuda a determinar si se está diseñando bien el sedimentador de acuerdo a la longitud y al ancho.

#### 1.3.4.4. *Velocidad horizontal*

Es la distancia que recorre un volumen de agua en una sección horizontal de un equipo.

$$V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$$

**ECUACIÓN 45**

Donde:

$V_H$  = Velocidad horizontal (m/s).

H = Altura del floculador (m).

B = Ancho del floculador (m).

Q = Caudal de entrada al floculador (m<sup>3</sup>/s).

Determina la velocidad horizontal del fluido, de esta depende el rendimiento de la sedimentación por lo que se debe controlar para que más del 95% de los flóculos sedimenten.

#### 1.3.4.5. *Tiempo de retención*

Es el tiempo en el que un fluido debe estar en el interior de un proceso, dando lugar a cambios sean físicos o químicos.

$$T_R = \frac{V}{3600Q_{en}} \quad \text{ECUACIÓN 46}$$

Donde:

V = volumen del tanque (m<sup>3</sup>).

Q<sub>en</sub> = Caudal de entrada. (m<sup>3</sup>/s).

T<sub>r</sub> = Tiempo de retención (s).

A<sub>s</sub> = Área de la superficie (m<sup>2</sup>).

La ecuación determina el tiempo que el agua debe estar en el proceso de floculación, es importante para obtener un agua clarificada sin flóculos en su masa.

#### 1.3.4.6. *Altura máxima*

Es la distancia desde el suelo en forma perpendicular a este, considerando los aspectos de desbordes.

$$\hat{H} = H + 0,1 * L \quad \text{ECUACIÓN 47}$$

Donde:

$\hat{H}$  = Altura desde el fondo del tanque (m).

H=Altura del tanque (m).

L = Longitud del tanque (m).

La ecuación determina la altura del tanque, el mismo que tendrá una pendiente de 10% con respecto a la altura del tanque.

#### **1.3.4.7. *Altura del agua***

Es la distancia que existe desde la superficie de base del equipo hasta la superficie del flujo de agua.

$$H_2 = \left( \frac{Q}{1,843} \right)^{2/3}$$

**ECUACIÓN 48**

Donde:

$H_2$ =Altura del agua a la salida del tanque (m).

Q = Caudal del agua de entrada ( $m^3/s$ ).

La ecuación determina la altura de la lámina de agua dentro del equipo de sedimentación.

#### **1.3.4.8. *Cálculo de los orificios***

Son aberturas ubicadas en la superficie de una estructura, por la cual fluye con una velocidad un líquido.

$$A_o = \frac{Q}{V_o} \quad \text{ECUACIÓN 49}$$

Donde:

Q = Caudal del agua de entrada (m<sup>3</sup>/s).

V<sub>0</sub> = Velocidad de paso del agua (m/s).

A<sub>0</sub> = Área total de los orificios (m<sup>2</sup>).

Sirve para establecer un flujo de agua uniforme para lograr un equilibrio y los floculos sedimenten. La velocidad de flujo por la pantalla difusora es V<sub>0</sub> = 0,1 m/s, tabla 31. la pantalla difusora es la encargada de distribuir el agua para establecer un flujo estacionario por lo que es importante el dimensionamiento de orificios ubicados uniformemente.

#### 1.3.1.17.4. Área de cada orificio

Es la sección libre de ubicado en una superficie por la cual puede circular un fluido.

$$a_o = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad \text{ECUACIÓN 50}$$

Donde:

a<sub>0</sub> = Área de cada orificio (m<sup>2</sup>).

d= diámetro de los orificios (m).

La ecuación determina la superficie por la que circulara el agua para poder sedimentarse, a condiciones establecidas de caudal, velocidad.

#### **1.3.1.17.5. Número de orificios**

Es la cantidad de orificios que debe realizarse en una superficie.

$$n = \frac{A_o}{a_o}$$

**ECUACIÓN 51**

Donde:

$A_0$  = Área total de los orificios (m<sup>2</sup>).

$a_0$  = Área de cada orificio (m<sup>2</sup>).

n = Numero de orificios.

La ecuación determina el número de orificios necesario para que circule el agua, para obtener un flujo estable y capaz de que la fuerza de gravedad sedimente los flóculos formados.

#### **1.3.1.17.6. Cálculo de la altura de orificios en la pared**

Es la distancia desde la superficie superior y la superficie inferior en la cual se establece la ubicación de los orificios, considerado como parte del diseño del sedimentador.

$$h = H - \frac{2}{5}H \quad \text{ECUACIÓN 52}$$

Donde:

h= Altura a la que van los orificios (m).

H = altura del tanque (m).

Teóricamente se deben colocar los orificios a  $\frac{H}{5}$  debajo de la altura máxima y  $\frac{H}{5}$  encima del nivel de la base del sedimentador.

#### 1.3.1.17.7. *Determinación de los espacios entre filas y columnas*

Es la distancia adecuada a la que deben estar separados las filas y las columnas, dando una distribución estable del fluido.

✓ **Espacio entre filas.**

$$e_f = \frac{h}{n_f} \quad \text{ECUACIÓN 53}$$

✓ **Espacio entre columnas**

$$e_c = \frac{B - e_f(n_c - 1)}{2} \quad \text{ECUACIÓN 54}$$

Donde:

$h$  = Altura disponible para los orificios (m).

$B$  = Ancho del floculador (m).

$e_f$  = Espacio entre filas (m).

$n_c$  = Número de canales

Las ecuaciones determinan la distancia óptima para la ubicación de los orificios en la pared difusor. Número de filas  $n_f = 10$  ; número de columnas  $n_c = 25$

#### **1.3.1.17.8. Cálculo del caudal de salida**

Es el volumen de agua que circula por la unidad de tiempo a la salida de un proceso como resultado o paso intermedio para ingresar a otro.

$$2.03 = \frac{Q_{en}}{Q_{sal}} \qquad \text{ECUACIÓN 55}$$

Donde:

$Q_{en}$  = Caudal de entrada ( $m^3/s$ ).

$Q_{sal}$  = Caudal de salida del sedimentador ( $m^3/s$ ).

La ecuación determinada experimentalmente deduce el caudal a la salida del sedimentador. De acuerdo a la tabla 30 experimentalmente la relación  $Q_{en}/Q_{sal}=2.03$ .

### **1.3.5. Diseño del filtro lento de arena**

#### **1.3.5.1. Número de unidades**

Es el número de equipos necesario para el proceso de filtración, considerando factores de ubicación, caudal, mantenimiento y costos de fabricación.

$$Nu = \frac{\sqrt{Q_{entrada}}}{4} \qquad \text{ECUACIÓN 56}$$

Donde:

Nu= Número de unidades.

Qentrada= Caudal de entrada al filtro (m<sup>3</sup>/s).

La ecuación determina el número mínimo de unidades para el proceso de filtración, de acuerdo al caudal.

#### **1.3.5.2. Área del medio filtrante**

Es la superficie donde se ubican las capas de del medio por el cual circulara el agua dejando las impurezas.

$$Am = \frac{Q_{entrada}}{Nu \cdot V_f} \qquad \text{ECUACIÓN 57}$$

Donde:

Nu = Número de Unidades.

$V_f$  = Velocidad de filtración Tabla 32 (m/s).

$A_m$  = Área del medio filtrante ( $m^2$ ).

La ecuación determina la superficie necesaria para lograr la filtración del agua que ingresa con algún tipo de impureza.

### 1.3.5.3. *Coficiente de mínimo costo.*

El coeficiente del mínimo costo es un factor de corrección para el dimensionamiento de la longitud y ancho del equipo.

$$Kc = \frac{2 Nu}{Nu + 1} \qquad \text{ECUACIÓN 58}$$

Donde:

Nu: Número de unidades.

Kc: Coeficiente de mínimo costo.

La ecuación determina un valor de corrección para el diseño de la longitud y ancho del filtro, dependiendo del número de unidades.

#### 1.3.5.4. *Largo de la unidad.*

Es la longitud horizontal de un equipo o proceso.

$$Lu = \sqrt{Am \cdot Kc}$$

**ECUACIÓN 59**

Donde:

Am: Área del medio filtrante (m<sup>2</sup>).

Kc: Coeficiente de mínimo costo.

Lu: Longitud de cada unidad (m).

La ecuación determina la longitud necesaria del filtro considerando el factor de corrección.

#### 1.3.5.5. *Ancho de cada unidad.*

Es la distancia perpendicular a la longitud, de un equipo.

$$Bu = \sqrt{\frac{Am}{Kc}}$$

**ECUACIÓN 60**

Donde:

Am: Área del medio filtrante (m<sup>2</sup>).

Kc: Coeficiente de mínimo costo.

Bu: Ancho de cada unidad (m).

La ecuación determina el ancho de la unidad necesaria para la filtración del caudal de agua en la entrada.

### 1.3.5.6. *Velocidad de filtración real*

Es la distancia a la que recorre el agua por unidad de tiempo dentro del medio filtrante.

$$V_r = \frac{Q_{entrada}}{2(Lu \cdot Bu)} \quad \text{ECUACIÓN 61}$$

Donde:

V<sub>r</sub> = Velocidad real de filtración (m/s).

Bu: Ancho de cada unidad (m).

Lu: Longitud de cada unidad (m).

La ecuación determina la velocidad de filtración real en el equipo, mediante cálculos experimentales en el laboratorio llevados a nivel macro.

### 1.3.5.7. *Determinación del $d_{arena}$ , $d_{gravilla}$ , $d_{grava}$ .*

*Relación entre los diámetros de grano.*

Son las razones entre los diámetros óptimos de los constituyentes del lecho filtrante.

La arena tiene la función de filtrar el agua a tratarse. La grava tiene la función de soporte de la capa de arena, evita que el lecho de arena se descomponga y a su vez asegura una función de drenaje del agua a la salida del material filtrante, asegurando una mayor permeabilidad que el lecho filtrante.

**1.3.1.17.9. Determinación del diámetro de la gravilla**

$$\frac{d_{gravilla}}{d_{arena}} < 5$$

**ECUACIÓN 62**

**1.3.1.17.10. Determinación del diámetro de grava.**

$$\frac{d_{grava}}{d_{arena}} < 25$$

**ECUACIÓN 63**

Donde:

$d_{gravilla}$  = diámetro de la gravilla (m).

$d_{grava}$  = diámetro de la grava (m).

$d_{arena}$  = diámetro de la arena (m).

Las ecuaciones establecen los diámetros mínimos de la granulometría de la grava, gravilla y arena.

### 1.3.5.8. Caudal de salida del filtro

Es el volumen de agua que sale del filtro por unidad de tiempo.

$$\frac{Q_{en}}{Q_{sal}} = 1.43 \quad \text{ECUACIÓN 64}$$

Donde:

$Q_{en}$  = Caudal de entrada al filtro ( $m^3/s$ ).

$Q_{sal}$  = Caudal de salida del filtro ( $m^3/s$ ).

De acuerdo a los datos experimentales obtenidos en la tabla 32 la relación entre el caudal de entrada y el caudal de salida es 1.43

### 1.3.5.9. Cálculo de la altura del filtro

Es la distancia perpendicular del equipo con respecto a la superficie del suelo.

$$V_{en} = V_{ac} + V_s \quad \text{ECUACIÓN 65}$$

$$h = \frac{V}{Lu \times Bu} \quad \text{ECUACIÓN 66}$$

Donde:

$h$ = Altura del filtro (m).

$V$ = Volumen de agua dentro del filtro ( $m^3$ ).

$L_u$ = Longitud del filtro (m).

$B_u$ = Ancho del filtro (m).

Determina la altura del filtro considerando el volumen de entrada, salida y acumulación del equipo.

Para el cálculo del volumen de acumulación es necesario tomar muy en cuenta el volumen de entrada y salida mediante un balance volumétrico. Y a partir del volumen con los datos de longitud y ancho se establece la altura del filtro. Considerando un 10% de seguridad en la altura.

#### **1.3.5.10. Cálculo de la altura del desagüe**

Corresponde a la altura que existe entre la superficie de la base del equipo hasta la zona del lecho filtrante, por la cual un volumen de agua saldrá.

$$\frac{h_{\text{filtro}}}{h_{\text{desague}}} = 6,7$$

**ECUACIÓN 67**

Donde:

$h_{\text{filtro}}$  = Altura del filtro (m).

$h_{\text{desague}}$  = Altura del desagüe (m).

La ecuación determina la altura de la zona de salida del filtro para conducir el agua al siguiente proceso.

### **1.3.6. *Diseño del filtro de resina catiónica***

#### **1.3.6.1. *Determinación del volumen de agua a tratar***

Es el volumen de agua que ingresa a un proceso para ser tratada en un intervalo de tiempo.

$$V_{en} = Q_{en} \times t$$

Donde:

Q<sub>en</sub>: Caudal de entrada al filtro (m<sup>3</sup>/s).

V<sub>en</sub>: Volumen de entrada al filtro (m<sup>3</sup>).

t: Tiempo de entrada del agua al filtro (s).

La ecuación determina la cantidad de agua que ingresa al proceso para ser filtrada en el lecho de la resina catiónica.

#### **1.3.6.2. *Masa de resina a utilizar***

Es la cantidad de sustancia necesaria expresada en unidades de masa.

$$M_r = \frac{5 V_c}{6} \quad \text{ECUACIÓN 68}$$

Donde:

$M_r$  = Masa resina (kg).

$V_c$  = Volumen de agua cruda a tratar ( $m^3$ ).

La ecuación determina la masa de resina necesaria para filtrar un volumen de agua, en un intervalo de tiempo. Experimentalmente se determinó que 5g de resina sirven para tratar 6L de agua. Tabla 34

### 1.3.6.3. *Volumen de resina a utilizar*

Es la cantidad de materia que ocupa un espacio dentro de un recipiente contenedor.

$$\rho = \frac{m_{resina}}{V_{resina}} \quad \text{ECUACIÓN 69}$$

Donde:

$m$  = Masa resina (kg)

$V_{resina}$  = Volumen de la resina ( $m^3$ ).

$\rho_{resina}$  = Densidad de la resina (g/L).

La ecuación ayuda a determinar el volumen de resina que ocupara la masa determinada para el proceso. Utilizando la densidad de la resina  $\rho_{resina}= 820\text{g/L}$ . Tabla 34.

#### 1.3.6.4. Cálculo del diámetro del filtro

Es el ancho de un objeto de forma cilíndrica, que une dos puntos opuestos de una circunferencia.

$$r_{resina} = \sqrt{\frac{V_{resina}}{h_{resina}\pi}} \quad \text{ECUACIÓN 70}$$

Donde:

$r_{resina}$  = Radio de la resina (m).

$h_{resina}$  = altura de la resina (m).

La ecuación ayuda, utilizando el volumen de la resina y al haber determinado experimentalmente que la altura de la resina dentro del filtro es de  $h_{resina}=0,035\text{m}$  (Tabla 34); se determina el diámetro del filtro a nivel macro, siendo el diámetro de la resina el mismo para el filtro.

#### 1.3.6.5. Cálculo del caudal de salida del filtro

Es el volumen de agua por unidad de tiempo a la salida de un equipo o proceso.

$$\frac{Q_{en}}{Q_{sal}} = 1.28$$

**ECUACIÓN 71**

Donde:

Qsal= Caudal de salida del filtro (m<sup>3</sup>/s).

Qen= Caudal de entrada al filtro (m<sup>3</sup>/s).

La ecuación determinada experimentalmente deduce el caudal de salida en función del caudal de entrada al filtro. De acuerdo a la tabla 34 la relación de Qen/Qsal = 1.28. Determinamos el caudal de salida del filtro.

#### **1.3.6.6. Cálculo de la altura del agua dentro del filtro**

Es la altura que existe entre la superficie de la base del equipo hasta la zona del lecho filtrante

$$V_{ent} = V_{ac} + V_{sal}$$

**ECUACIÓN 72**

Donde:

Ven= Volumen de agua a la entrada (m<sup>3</sup>).

Vsal = Volumen de salida (m<sup>3</sup>).

Vac= Volumen de acumulación durante el filtrado (m<sup>3</sup>).

$$V_{agua} = h_{agua} \pi r^2$$

**ECUACIÓN 73**

Donde:

$V_{agua}$  = Volumen de agua en el filtro (m<sup>3</sup>).

$h_{agua}$  = altura de la resina (m).

Para establecer la altura del filtro se tiene que establecer un balance volumétrico, conociendo así el volumen de acumulación Ec.72. Así a partir de la expresión del volumen de un cilindro obtenemos la altura del filtro usando un 10% de seguridad Ec.73.

#### **1.3.6.7. Determinación del área de salida de filtrado**

Es una superficie delimitada que la distingue de las demás, ya que, es la superficie por la cual saldrá un volumen de agua.

$$A_{filtrado} = \frac{Q}{V_{filtracion}}$$

Donde:

**Q**= Caudal de salida del filtro (m<sup>3</sup>/s).

**V<sub>filtrado</sub>** = Velocidad de filtración (m/s).

$$A_{\text{filtrado}} = \text{Área de salida del filtrado (m}^2\text{)}.$$

La ecuación determina Considerando la misma velocidad de filtración. Y la ecuación del caudal determinamos el área de salida.

#### **1.3.6.8. Cálculo de la altura del desagüe del filtro.**

Es la distancia perpendicular desde la base del filtro hasta la zona del lecho filtrante.

$$\frac{h_{\text{salida}}}{h_{\text{filtro}}} = 0.15 \qquad \text{ECUACIÓN 74}$$

Donde:

**$h_{\text{salida}}$**  = Altura de salida del filtro (m).

**$h_{\text{filtro}}$**  = Altura del filtro (m).

La ecuación determina la altura de la salida del agua filtrada o desagüe, mediante la relación encontrada experimentalmente.

#### **1.3.6.9. Cálculo de la velocidad a la salida del filtro.**

La velocidad es la distancia que recorre un fluido por unidad de tiempo por una sección o superficie determinada.

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

**ECUACIÓN 75**

Donde:

$A_1$  = Área del filtro (m<sup>2</sup>).

$A_2$  = Área de salida del filtrado (m<sup>2</sup>).

$V_1$  = Velocidad de filtración o tasa de filtrado (m/s).

$V_2$  = Velocidad a la salida del filtro (m/s).

A partir de la ecuación de la ecuación de la continuidad determinamos el área de la salida del filtro.

### **1.3.7. Cálculos adicionales**

#### **1.3.7.1. Cálculo del volumen de salmuera de activación.**

Es la cantidad de solución necesaria a una concentración específica.

$$V_{salmuera} = V_C \cdot 1 \times 10^{-3}$$

**ECUACIÓN 76**

Donde:

$V_{\text{salmuera}}$  = Volumen de salmuera para el proceso ( $\text{m}^3$ ).

$V_C$  = Volumen de agua cruda ( $\text{m}^3$ ).

$1 \times 10^{-3}$  = Relación entre el volumen de solución de salmuera y agua cruda experimentales.

La ecuación determina el volumen de salmuera a partir del volumen de agua cruda. De acuerdo a la (Tabla 34). Un volumen de  $6 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  se trató con  $6 \times 10^{-6} \text{ m}^3$  de solución de salmuera al 8%.

### 1.3.7.2. Cálculo de la masa de salmuera al 8%.

La masa es la cantidad de materia para la preparación de solución a un volumen y concentración específica.

$$M_{\text{NaCl}} = \frac{8 \cdot V_{\text{salmuera}}}{100}$$

**ECUACIÓN 77**

Donde:

$M_{\text{salmuera}}$  = Masa de salmuera para el proceso (Kg).

$V_{\text{salmuera}}$  = Volumen de salmuera para el proceso ( $\text{m}^3$ ).

La ecuación ayuda a determinar el volumen de salmuera a partir de la determinación experimental de la concentración. La solución al 8% corresponde a 8g de NaCl por cada 100mL de solución.

### 1.3.1.18. Cálculo de la cantidad de agua de lavado de la resina.

Es la cantidad de agua necesaria para realizar una actividad adecuada a un proceso.

$$V_L = \frac{160 \cdot M_r}{5} \quad \text{ECUACIÓN 78}$$

Donde:

$V_L$  = Volumen de agua de lavado para la resina ( $m^3$ ).

$M_r$  = Masa de resina (Kg).

A partir de la ecuación determinada experimentalmente establecemos la cantidad de agua necesaria para el lavado de la resina. De acuerdo a la (Tabla 37) el volumen de agua necesario para el lavado de la resina es 160mL para los 5g de resina usados.

### 1.3.1.19. Dosificación de cloro

Es la cantidad en volumen o masa determinada experimentalmente, para ejercer una acción a nivel de dimensiones macro.

$$V_{cloro} = 0,05 \cdot V_C \quad \text{ECUACIÓN 79}$$

Donde:

$V_{cloro}$  = Volumen de lavado de la resina ( $m^3$ ).

$V_c = \text{Volumen de lavado de agua cruda (m}^3\text{)}.$

La ecuación determina el volumen de cloro necesario para purificar el a partir de el volumen de agua cruda. Experimentalmente se demostró que la cantidad de cloro a utilizar es de 1 gota (0,05mL) por cada litro de agua (Tabla 43), cumpliendo con el parámetro de cloro residual.

**OBSERVACIÓN:** todos los cálculos realizados para el dimensionamiento de los procesos son valores dimensionales internos.

## CAPITULO II

### 2. PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1. Muestreo

El muestreo se realizó con el apoyo del GADPCH, con el cual mediante análisis de laboratorio preliminares se determinó la pésima calidad del agua de la Comunidad de Langos San Alfonso, el muestreo fue del tipo simple aleatorio y se lo efectuó un día a la semana durante 2 meses dando un total de 8 muestras, para determinar si existía una variación en la composición química del agua.

Los resultados demostraron que la composición era a nivel físico-químico y microbiológico era constante determinando así el requerimiento de un tratamiento al agua subterránea de la Comunidad Langos San Alfonso.

Para tomar la muestra, se dejó bombear agua durante 5 minutos la cual tenía presencia de material férrico procedente de la corrosión de la tubería que conectaba el pozo con la bomba, la justificación era tener una muestra lo más representativa posible de la calidad del agua, evitando la contaminación por efectos de desgaste de la tubería.

La presencia de corrosión al iniciar el bombeo daba a notar claramente que el estado del agua no era el adecuado para el consumo humano, por afección de la dureza de la misma es decir era un indicador de un alto contenido de Calcio y Magnesio en la composición química de nuestra muestra problema.

## **2.2. Metodología**

### **1.1.1. *Métodos y técnicas***

#### **2.2.1.1. *Métodos***

Los métodos utilizados para el análisis de las muestras son del tipo electrométrico, espectrofotométrico, volumétrico, nefelométrico y colorimétrico:

##### **2.2.1.1.1. *Electrométricos***

Son los parámetros físicos medidos por variación eléctrica mediante un electrodo en el multiparámetro hach Sens ion 5.

##### **2.2.1.1.2. *Espectrofotométrico***

Son los parámetros medidos mediante la preparación de la muestra con reactivos químicos, los cuales colocadas en celdas absorben una cierta cantidad de radiación específica de los elementos químicos a cierta longitud de onda y así podemos determinar la concentración de la sustancia presente en la muestra.

#### 2.2.1.1.3. *Nefelométrico*

Es proceso analítico que se basa en la dispersión de la radiación, cuando una cierta cantidad de radiación pasa por un área de una solución con materiales sólidos en suspensión, dicha radiación tiende a chocar con estas partículas disminuyendo la potencia de la misa.

#### 2.2.1.1.4. *Volumétrico*

Consiste la preparación de la muestra problema con la adición de un indicador químico dando una coloración dependiendo el pH, luego se somete a titulación la muestra problema (analito) con una solución estándar hasta llegar al punto de viraje.

#### 2.2.1.1.5. *Colorimétrico*

Consiste en la determinación de las concentraciones de ciertas sustancias al ser preparadas con reactivos dando así la presencia de un color característico, este color es comparado con la curva espectral de las sustancias específicas y así podemos determinar la concentración de un elemento en dicha sustancia.

**Tabla 4: MÉTODO DE ANÁLISIS DE LA MUESTRA PROBLEMA**

PARÁMETRO	MÉTODO
pH, Conductividad	Electrométrico.
Acidez, Cloruros, Calcio, Alcalinidad, Dureza	Volumetría.
Fosfatos, Nitritos, Hierro, fluoruros.	Espectrofotometría de UV visible.
Sulfatos, Nitratos, Amonios,	Colorimetría.
Turbiedad	Nefelometría.

**Fuente:** “STÁNDAR METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTERWATER”, 2015.  
**Realizado por:** Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 5: MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LA MUESTRAS PROBLEMAS**

DETERMINACIÓN	MÉTODO	DESCRIPCIÓN
TOMA DE MUESTRAS	MUESTREO SIMPLE	Tomamos la muestra esperando un tiempo de 5 minutos de bombeo del agua subterránea para obtener una composición lo más representativa posible. El volumen tomado es de 5 litros.
TURBIEDAD	NEFOLOMÉTRICO	Utilizamos el turbidímetro.
COLOR	COMPARATIVO	Utilizando el equipo HACH y comparándolo con un blanco de agua destilada.
PH	ELECTROMÉTRICO	Utilizamos el pH-metro Sens ION 5 HACH, y para la medición el electrodo de pH.
CONDUCTIVIDAD		Se toma el dato con el electrodo conductimétrico simultáneamente con el pH en el equipo Sens ION 5.
ALCALINIDAD	VOLUMÉTRICO	25 mL de muestra +2 gotas de Fenolftaleína(rosado) titulamos con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta incoloro (pH=6.1) + 3 gotas de naranja de metilo titular con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> de naranja a rosado (pH=8)
DUREZA		25 mL de muestra + 1mL de KCN + 2mL de buffer pH10 + indicador Negro de Eriocromo T (Eriochromschwarz) titulamos con EDTA (0,02 M) de lila a azul.
CALCIO		25 mL de muestra + 1mL de KCN + 1mL de NaOH (1N) + indicador murexida titulamos con EDTA (0,02 M) de rosado a lila.
CLORUROS		25 mL de muestra + 4 gotas de K <sub>2</sub> CrO <sub>7</sub> ) titulamos con AgNO <sub>3</sub> (0,01 N) de amarillo a ladrillo.
AMONIOS	COLORIMETRÍA	En un balón de 50mL colocar 25mL de muestra +1mL de tartrato de sodio y potasio +2mL de solución de Nessler, aforar con la misma muestra y medir a 425nm en el colorímetro.
SULFATOS		En un balón de 100mL colocar un poco de la muestra +2mL de solución acondicionadora de sulfatos +aproximadamente 1gr Cloruro de Bario aforar con la misma muestra y medir a 410nm en el colorímetro.

Continuara...

Continuara...

<b>NITRITOS</b>		En un balón de 50mL colocar 25mL de muestra +2mL de solución A (Ac. Sulfanílico) +2mL de solución B ( $\alpha$ -naftilamina), aforar con la misma muestra y medir a 520nm en el colorímetro.
<b>HIERRO</b>	ESPECTROFOTÓMETRO	10mL de muestra + reactivo HACH FERRO VER agitamos hasta disolver el reactivo esperamos 5 minutos de reacción, colocamos un blanco de agua destilada para encerar el equipo y medimos la muestra problema.
<b>NITRATOS</b>		10mL de muestra + reactivo HACH NITRA VER 5 agitamos hasta disolver el reactivo esperamos 5 minutos de reacción, colocamos un blanco de agua destilada para encerar el equipo y medimos la muestra problema.
<b>FOSFATOS</b>		10mL de muestra + reactivo HACH FOSFA VER 3 agitamos hasta disolver el reactivo esperamos 5 minutos de reacción, colocamos un blanco de agua destilada para encerar el equipo y medimos la muestra problema.
<b>FLUORUROS</b>		Tomamos 10mL de muestra en una celda hach, luego 10mL de agua destilada (blanco) añadimos 2mL de reactivo de SPANDS. En el equipo hach DR 2800 colocamos el blanco enceramos y luego medimos la muestra problema.
<b>SOLIDOS TOTALES</b>	SECADO	Pesamos una caja Petri tarada, colocamos 25mL de muestra previamente agitada, evaporamos toda el agua a baño maría, luego colocamos la caja Petri en la estufa, colocamos en el desecador hasta que se enfríe y pesamos.
<b>MICROBIOLÓGICO (COLIFORMES FECALES Y TOTALES)</b>	SEMBRADO	Utilizando el equipo de filtración de membrana previamente esterilizado se siembra dejamos 24 h en la incubadora y se realiza el conteo de las colonias.

Fuente: "STÁNDAR METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTERWATER"

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

#### **2.2.1.2. Técnicas**

Las técnicas utilizadas son tomadas del manual “STÁNDAR METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTERWATER”, en combinación de las técnicas establecidas en el manual del equipo HACH DR 2800.

**Tabla 6: DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD MÉTODO 2320 A**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables. El valor medio puede variar significativamente con el pH de punto final utilizado. La alcalinidad de muchas aguas de superficie depende primordialmente de su contenido en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que suele tomarse como una indicación de la concentración de estos componentes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta de 50mL.</li> <li>• Pipeta de 1mL.</li> <li>• Vaso de precipitación de 250mL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra problema</li> <li>• Naranja de metilo</li> <li>• Ácido sulfúrico 0,02N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar 25 mL de muestra</li> <li>• Agregar 4 gotas de naranja de Metilo.</li> <li>• Valorar con ácido sulfúrico 0,02N.</li> <li>• Leer valor de titulación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mL valorados por 20</li> </ul>

**Fuente:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

**Realizado por:** Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 7: DETERMINACIÓN DE DUREZA CON EDTA MÉTODO 2340 C**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La dureza total se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato cálcico en miligramos por litro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta de 100mL</li> <li>• Pipeta de 1mL</li> <li>• Vaso de precipitación de 250mL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muestra problema</li> <li>• Solución Buffer pH 10</li> <li>• Negro de Eriocromo T</li> <li>• EDTA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar 25 mL de agua</li> <li>• Adicionar 1mL de solución Buffer pH 10</li> <li>• Poner una pizca de Negro de Eriocromo T</li> <li>• Valorar con EDTA</li> </ul>	<p>Los mL valorados por 20</p>

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 8: DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD MÉTODO 2510 B**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Ésta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de medición.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductiméto.</li> <li>• Vaso de precipitación de 250mL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar la muestra en un vaso de precipitación.</li> <li>• Introducir el electrodo del conductiméto.</li> <li>• Dejar que realice la lectura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa</li> </ul>

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 9: DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES MÉTODO 2540**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baño María.</li> <li>• Capsulas taradas.</li> <li>• Pipeta de 25mL.</li> <li>• Balanza.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesar una caja Petri tarada.</li> <li>• Agitar la muestra de agua y colocar 25mL de muestra en la caja.</li> <li>• Dejar a baño María hasta sequedad.</li> <li>• Introducirla en la estufa.</li> <li>• Colocar en el desecador por 15 min y pesar.</li> </ul>	<p>Mg ST/l  <math>(A - B) \times 1000 / \text{vol.}</math>                      De muestra en mL</p> <p><b>Donde:</b></p> <p>A: peso de residuo seco + placa mg.</p> <p>B: peso de la placa mg.</p>

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 10: DETERMINACIÓN DE STD MÉTODO 2540 C**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Los sólidos totales disueltos es la cantidad de materia disuelta en un volumen de agua.</p> <p>Se puede calcular tomando la suma de las concentraciones de todos los cationes y aniones del agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaso de Precipitación de 250 mL</li> <li>• Electrodo HACH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar una cantidad de agua muestra en un vaso de precipitación.</li> <li>• Introducir el electrodo</li> <li>• Dejar que lea</li> </ul>	<p>Lectura directa</p>

**Fuente:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

**Realizado por:** Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 11: DETERMINACIÓN DEL PH MÉTODO 4500**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La medida del Ph es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua, prácticamente todas las fases del tratamiento de agua para consumo y residual como, precipitación, ionizado, coagulación, desinfección y control de la corrosión, dependen del pH. El pH se utiliza en la determinación de la alcalinidad y dióxido de carbono y en muchos otros equilibrios ácido-base.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH-metro digital.</li> <li>• Vaso de precipitación de 250mL.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua problema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibrar el pH-metro utilizando las soluciones 4, 7 y 10.</li> <li>• Colocar el electrodo en el vaso de precipitación leer el valor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa</li> </ul>

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 12: DETERMINACIÓN DE TURBIDEZ MÉTODO 2130 B**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Cuando mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbidez.</p> <p>La turbidez de una concentración especificada de suspensión de formación se define como el equivalente a 40 unidades nefelométricas.</p> <p>La turbidez puede determinarse en cualquier muestra de agua libre de residuos y privada de sedimentos gruesos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Turbidiméetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar una cantidad de muestra en la celda del turbidiméetro y dejar que lea.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa</li> </ul>

**Fuente:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

**Realizado por:** Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 13: DETERMINACIÓN DE COLOR MÉTODO 2120**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El término color se asocia al concepto de color puro, esto es el color del agua cuya turbidez ha sido eliminada.</p> <p>El término color aparente engloba no sólo el color debido a las sustancias disueltas, sino también a las materias en suspensión.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo HACH DR 2800</li> <li>• Pizeta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua muestra</li> <li>• Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar en una celda el agua muestra.</li> <li>• Colocar en otra celda agua destilada</li> <li>• Encerar el equipo con el agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa</li> </ul>

Fuente: HACH MODEL DR/2800

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 14: DETERMINACIÓN DE HIERRO MÉTODO 8008**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El hierro es un constituyente inorgánico que está presente en las aguas de formación por lo tanto en los lodos provenientes de éstas.</p> <p>El óxido de tubos de hierro o acero, también puede aumentar la concentración de materiales disueltos, así como la cantidad total de hierro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HACH DR 2800</li> <li>• Pipeta de 10mL</li> <li>• Pizeta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactivo ferrover 3</li> <li>• Agua problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar en una celda 10mL de agua muestra</li> <li>• Colocar en otra celda agua muestra más reactivos.</li> <li>• Esperar el tiempo sugerido</li> <li>• Encerar el equipo con la celda blanco</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa</li> </ul>

Fuente: HACH MODEL DR/2800

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 15: DETERMINACIÓN DE FOSFATOS MÉTODO 8190**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El fósforo se encuentra en las aguas naturales y residuales casi exclusivamente en forma de fosfatos, clasificados en orto fosfato, fosfatos condensados pirofosfatos, meta fosfatos, otros poli fosfatos y los fosfatos ligados orgánicamente.</p> <p>Los fosfatos orgánicos se forman en procesos biológicos. El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente limitado de la productividad primaria de un cuerpo en el agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HACH DR 2800</li> <li>• Pipeta de 10mL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactivo phosfover.</li> <li>• Agua problema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar en una celda 10mL de agua muestra</li> <li>• Colocar en otra celda agua muestra más reactivos</li> <li>• Esperar el tiempo sugerido</li> <li>• Encerar el equipo con la celda blanco</li> <li>• Leer el valor de la celda problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa</li> </ul>

Fuente: HACH MODEL DR/2800

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 16: DETERMINACIÓN DE NITRATOS MÉTODO4500-NO<sub>3</sub> B**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Los niveles naturales de nitratos en aguas superficiales y subterráneas son generalmente de unos pocos miligramos por litro.</p> <p>En muchas aguas subterráneas, se ha observado un incremento de los niveles de nitratos debido a la intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HACH DR 2800</li> <li>• Pipeta de 10 mL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactivo nitra-ver 5</li> <li>• Agua muestra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar en una celda 10mL de agua muestra</li> <li>• Colocar en otra celda agua muestra más reactivos</li> <li>• Esperar el tiempo sugerido</li> <li>• Encerar el equipo con la celda blanco</li> <li>• Leer el valor de la celda problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa</li> </ul>

Fuente: HACH MODEL DR/2800

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 17: FLUORUROS MÉTODO 8029**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Una concentración de fluoruro de 1,0 mg/l aproximadamente en el agua de bebida reduce efectivamente de caries dentales sin efectos perjudiciales sobre la salud.</p> <p>El fluoruro puede aparecer naturalmente en el agua o se puede adicionar en cantidades controladas.</p> <p>Cuando el nivel se excede del recomendado puede</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HACH DR 2800</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua problema</li> <li>• Reactivo de SPANDS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar en una celda 10mL de agua destilada.</li> <li>• Colocar en otra celda agua muestra.</li> <li>• Añadir a las dos celdas 2 mL de reactivo de SPANDS</li> <li>• Esperar el tiempo sugerido.</li> <li>• Encerar el equipo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa</li> </ul>

Fuente: HACH MODEL DR/2800

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

## NITRITOS

**Tabla 18: DETERMINACIÓN DE NITRITOS MÉTODO 4500 - B**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El ión nitrato (<math>\text{NO}_3^-</math>) forma sales muy solubles y estables.</p> <p>En un medio reductor puede pasar a nitritos, nitrógeno gas e incluso amoníaco.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución A</li> <li>• Solución B</li> <li>• Agua problema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En un balón de 50mL coloca 25mL de muestra.</li> <li>• Adicionar 2 mL de solución A y 2 mL de solución B, aforar con la misma muestra dejar reposar 30 min.</li> <li>• Medir en el espectrofotómetro a 520nm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa</li> </ul>

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 19: AMONIOS MÉTODO 4500 - C**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Los dos factores principales que influyen en la selección del método para determinar el amoníaco, son la concentración y la presencia de interferencias.</p> <p>En general la determinación manual directa de concentraciones bajas se limita a las aguas potables, aguas superficiales limpias y diluyentes residuales nitrificados de buena calidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tartrato de Sodio y potasio</li> <li>• Solución de Nessler.</li> <li>• agua problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En un balón de 50mL colocar 25mL de muestra.</li> <li>• Adicionar 1 mL de tartrato de sodio y potasio.</li> <li>• Añadir 2mL de solución Nessler, aforar con la misma muestra.</li> <li>• Medir a 425nm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa</li> </ul>

**Fuente:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

**Realizado por:** Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 20: DETERMINACIÓN DE SULFATOS MÉTODO 4500 E**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El sulfato se distribuye ampliamente en la naturaleza y puede presentarse en aguas naturales en concentraciones que van desde unas pocas a varios miligramos por litro.</p> <p>Los residuos del drenado de minas pueden aportar grandes cantidades debido a la oxidación de la pirita.</p> <p>El sulfato de sodio ejerce una acción catalítica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución acondicionadora de cloruro de bario</li> <li>• Agua problema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar una porción de muestra en un balón de 100mL</li> <li>• Añadir 2mL de solución acondicionadora.</li> <li>• Adicionar aproximadamente 1g de cloruro de bario.</li> <li>• Aforar con la muestra</li> <li>• Medir en el espectrofotómetro a 410nm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa</li> </ul>

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 21: DETERMINACIÓN DE CLORUROS MÉTODO 4500 Cl- B**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El cloruro en la forma de iones <math>\text{Cl}^-</math> es uno de los aniones inorgánicos principales presentes en el agua natural y residual.</p> <p>En el agua potable el sabor salado es generado por los cloruros, es variable y depende de la composición química del agua.</p> <p>En algunos casos este sabor salado típico puede estar ausente en aguas con hasta 1000 mg/l cuando los cationes predominantes son el calcio y magnesio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pipeta de 25mL</li> <li>• Bureta de 25mL</li> <li>• Erlenmeyer 150mL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cromato de potasio</li> <li>• Nitrato de plata 0,01N</li> <li>• Agua problema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar 25ml de muestra en un balón de 50mL</li> <li>• Añadir 4 gotas de cromato de potasio</li> <li>• Titular con nitrato de plata 0,01N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura de</li> <li>• titulación</li> </ul>

Fuente: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 22: DETERMINACIÓN DEL CLORO RESIDUAL 4500 CI**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La cloración del agua para suministro y residual sirve principalmente para destruir o desactivar los microorganismos causantes de enfermedades.</p> <p>Una segunda ventaja, especialmente en el tratamiento del agua reside en la mejora general de su calidad, como consecuencia de la reacción del cloro con el amoníaco, hierro, manganeso, sulfuros y algunas sustancias orgánicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HACH DR 2800</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua problema</li> <li>• DPD – total</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar en una celda 10mL de agua muestra.</li> <li>• Colocar en otra celda agua muestra más reactivos.</li> <li>• Esperar el tiempo sugerido.</li> <li>• Encerar el equipo con la celda blanco</li> <li>• Leer el valor de la celda problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lectura directa</li> </ul>

Fuente: HACH MODEL DR/2800

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 23: DETERMINACIÓN DE CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA MÉTODO 9222 B**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La potabilidad del agua es de gran importancia en cuanto a Salud Pública, ya que ésta puede servir como vehículo de microorganismos patógenos, es decir, productores de enfermedades llamadas comúnmente "de origen hídrico".</p> <p>El microorganismo indicador más comúnmente utilizado es Escherichia Coli (COLIFORMES FECAL)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membranas estériles</li> <li>• Equipo de absorción por filtración de membranas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medio de cultivos para Coliformes fecales y totales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esterilizar la pinza</li> <li>• Codificar las cajas</li> <li>• Colocar las membranas en el soporte</li> <li>• Homogenizar la muestra</li> <li>• Se coloca 100 mL de la muestra en el embudo</li> <li>• Se prende la bomba hasta que filtre totalmente</li> <li>• Se abre la llave se coloca la membrana en la caja</li> <li>• Agregar a la caja el medio de cultivo respectivo</li> <li>• Realizar el mismo procedimiento para el otro cultivo</li> <li>• Encubar de 24 a 48 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conteo de colonias</li> </ul>

**Fuente:** Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales

**Realizado por:** Juan Carlos Hidalgo

### 1.3. Datos experimentales

#### 1.3.1. Diagnostico

El agua muestreada del pozo de Langos, fue analizado en el laboratorio de Análisis Técnicos de Aguas perteneciente al “Proyecto de Aguas Subterráneas” en conjunto con el laboratorio de Análisis Técnicos de Aguas de la ESPOCH , en los resultados se encontraron que 10 parámetros de 17 analizados están fuera del rango permisible para agua de consumo humano.

Tales como la conductividad, dureza, el contenido de magnesio, hierro total y otros parámetros que se encuentran en los límites permisibles, pero cerca al límite máximo, por lo que es necesario el tratamiento para purificar el agua extraída del pozo mediante el diseño de una planta de potabilización.

#### 2.2.2. Datos

**Tabla 24: RESULTADOS PROMEDIOS DEL ANÁLISIS DEL AGUA DE CAPTACIÓN DE LANGOS SAN ANDRÉS**

DESCRIPCIÓN	RESULTADOS	UNIDADES	NORMA INEN (NTE INEN 108:2006)	UNIDADES
<i>PH</i>	6,9		6,5 - 8,5	
<i>TURBIEDAD</i>	3,5	NTU	1	NTU
<i>OLOR</i>	Un tanto oloroso		no objetable	
<i>COLOR</i>	5	UTC	5	UTC
<i>SABOR</i>	Poco a agua mineral		no objetable	
<i>CONDUCTIVIDAD</i>	1105	μS/cm	1000*	μS/cm
<i>SALINIDAD</i>	1		no establece	
<i>SOLIDOS TOTALES DISUELTOS</i>	685	mg/L	1000	mg/L

<b>CLORUROS</b>	11,3	mg/L	250	mg/L
<b>DUREZA TOTAL</b>	616	mg/L	300	mg/L
<b>CALCIO</b>	134,4	mg/L	70	mg/L
<b>MAGNESIO</b>	68	mg/L	50	mg/L
<b>ALCALINIDAD</b>	200	mg/L	300	mg/L
<b>SULFATOS</b>	307,98	mg/L	200	mg/L
<b>HIERRO TOTAL</b>	0,32	mg/L	0,3	mg/L
<b>FLUORUROS</b>	1,95	mg/L	1,5	mg/L
<b>SOLIDOS TOTALES</b>	1376	mg/L	1000	mg/L

Fuente: normas INEN 1108

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

✓ La norma INEN indica los parámetros máximos en aguas para consumo humano.

El área del terreno en la que se encuentra el pozo corresponde a un área de 2672.75m<sup>2</sup>.

Tiempo de estimación de vida de la planta: 15 años

**Tabla 25: DETERMINACIÓN DEL ANCHO W DEL CANAL PARSHALL EN FUNCIÓN DEL CAUDAL**

Ancho W (pulgadas)	Límites de caudal (L/s)	
	Q Mínimo	Q Máximo
1	0,28	5,67
2	0,57	14,15
3	0,85	28,31
6	1,42	110,44
9	2,58	252,00
12	3,11	455,90
18	4,24	696,50
24	11,90	937,30
36	17,27	1427,20
48	36,81	192,70
60	45,31	2424,00
72	73,62	2931,00

Fuente: AZEVEDO J. M., ACOSTA, G., MANUAL DE HIDRÁULICA.

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 26: DATOS TABULADOS PARA EL DISEÑO DEL CANAL PARSHALL**

DATOS TABULADOS		VALORES EN METROS
Long. Paredes sección convergente	A	0,621
Long. Sección convergente	B	0,61
Ancho de salida	C	0,394
Ancho de entrada sección convergente	D	0,4003
Profundidad total	E	0,457
Longitud de la garganta	F	0,305
Longitud de la sección divergente	G'	0,61
Long. Paredes sección divergente	K	0,076
Diferencia de elevación entre salida y cresta	N	0,114
Ancho de la garganta	W	0,152
Coefficiente	<i>k</i>	0.381
Exponente	<i>n</i>	1.580

Fuente: AZEVEDO J. M., ACOSTA, G., MANUAL DE HIDRÁULICA.  
 Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 27: VALORES DE MÁXIMA SUMERGENCIA EN FUNCIÓN DEL ANCHO DE LA GARGANTA DEL CANAL PARSHALL**

Ancho de garganta W	Máxima sumergencia (Hb/Ha)
7.5 (3 pul) a 22.9 (9pul)	0.6
30.5 (1pul) a 244 (8pul)	0.7
305 (10pul) a 1525 (50pul)	0.8

Fuente: AZEVEDO J. M., ACOSTA, G., MANUAL DE HIDRÁULICA.  
 Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 28: DATOS EXPERIMENTALES DE DOSIFICACIÓN DE PCA**

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Concentración de la solución de PCA	3.5	%
Volumen de PCA por Lt de agua a tratar	1.2x10 <sup>-5</sup>	m <sup>3</sup>

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 29: DATOS EXPERIMENTALES PARA EL DISEÑO DEL FLOCULADOR**

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Tiempo de retención	22	min
Gradiente de velocidad	20 – 100*	s <sup>-1</sup>
Velocidad del agua	0.2 - 0.6	m/s
Relación entre Longitud y ancho	2.75	
Altura mínima	1	m

Fuente: NORMAS RAS PARA DISEÑO DE FLOCULADORES DE FLUJO HORIZONTAL 2000, NORMAS AWWA, DISEÑO DE FLOCULADORES., 2001

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 30: DATOS EXPERIMENTALES PARA EL DISEÑO DEL SEDIMENTADOR**

DATOS EXPERIMENTALES	VALORES	UNIDADES
Velocidad de sedimentación	2.083x10 <sup>-3</sup>	m/s
Relación de caudal de entrada/salida	2.03	
Relación entre la longitud y el ancho	2.75	

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo.

**Tabla 31: CRITERIO DE DISEÑO DEL SEDIMENTADOR**

CRITERIO DE DISEÑO DEL SEDIMENTADOR		
PARÁMETRO	VALORES	UNIDADES
Relación largo y ancho (L/B)	$3 < \frac{L}{B} < 6$	
Relación largo y profundidad (L/H)	$5 < \frac{L}{H} < 20$	
Pantalla difusora	0.7 - 1	m
Velocidad de paso en la pantalla difusora	0.2 a 0.1	m/s
Pendiente de la zona de lodos	5 a 10	%
Relación de Velocidad de flujo con L/H	$\frac{L}{H} < \frac{V_H}{V_S}$	
Ubicación de los agujeros de a P. difusora	H/5	

Fuente: OPS, CEPIS., GUÍA PARA EL DISEÑO DE SEDIMENTADORES, 2006.

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 32: Datos experimentales para el diseño del filtro lento de arena**

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Velocidad de filtración $V_{filtración}$	$1.11 \times 10^{-4}$	m/s
Relación entre $Q_{en}/Q_{sal}$	1.43	
Relación entre $h_{filtro}/h_{desague}$	6.7	

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 33: RELACIÓN ENTRE DIÁMETROS DE GRAVA GRAVILLA Y ARENA**

Material	$d_{15}$	$d_{50}$	$d_{85}$	espesor
Gravilla	2,45 mm	12,45 mm	18 mm	15 cm
Grava	10 mm	17,50 mm	30 mm	15 cm
Grava	25 mm	35 mm	50 mm	20 cm

Fuente: Metcalfé, J., et al. Ingeniería química: unidades SI. Operaciones básicas, 1981

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 34: DATOS EXPERIMENTALES PARA EL DISEÑO DEL FILTRO DE RESINA CATIÓNICA**

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Densidad	820	g/L
Granulometría	1.2	mm
Tiempo de activación	15	min
Masa de la resina	5	g
Diámetro usado experimentalmente	1	cm
Tiempo de filtración	32	min
Volumen de solución de Salmuera	$6 \times 10^{-6}$	$m^3$
Volumen de agua tratada	$6 \times 10^{-3}$	$m^3$
Altura de la resina en el filtro	0.035	m
Velocidad de filtración	$6.62 \times 10^{-3}$	m/s
Relación entre la altura del filtro y la salida.	0.15	
Relación de $Q_{en}/Q_{sal}$	1.28	

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 35: DATOS EXPERIMENTALES DE LA SOLUCIÓN DE ACTIVACIÓN DE LA RESINA**

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Concentración de salmuera	8	%
Volumen de solución de salmuera por litro de agua tratada	$6 \times 10^{-6}$	$m^3$

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 36: CONTROL DE LA CONDUCTIVIDAD EN EL AGUA DE LAVADO DE LA RESINA**

CONDUCTIVIDAD DEL AGUA DESTILADA ( $\mu S/cm$ )	
39,43	
VOLUMEN DE AGUA (mL)	CONDUCTIVIDAD ( $\mu S/cm$ )
20	4830,00
40	163,30
60	68,60
80	65,70
100	54,00
120	46,70
140	47,00
160	39,80
180	40,10
200	40,15

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

#### 1.4. Datos adicionales

**Tabla 37: DATOS PRELIMINARES PARA EL DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Área del terreno	2672.75	$m^2$
Tiempo de vida estimado	15	años
Caudal del pozo	1,5	L
Requerimiento de agua por persona	80	L/p/día
Población estimada	900	personas
Volumen de agua a tratar	72	$m^3$

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 38: VALORES DE PESO ESPECÍFICO Y VISCOSIDAD DINÁMICA**

Temperatura	Peso específico	Viscosidad dinámica
°C	N/m <sup>3</sup>	Pa.s
15	9798	0.00115
16	9797	0.00112
17	9795	0.00109
18	9793	0.00107
19	9791	0.00104
20	9980	0.00101
21	9787	0.00099
22	9785	0.00097
23	9783	0.00094
24	9781	0.00092
25	9778	0.00090

Fuente: McCABE-SMITH-HARRIOTT., OPERACIONES UNITARIAS.

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 39: CRITERIOS DE DISEÑO PARA MEZCLADORES RÁPIDOS**

Criterio	Tiempo de Retención	Gradiente de velocidad (s <sup>-1</sup> )
Awwa	20	1000
	30	900
	40	790
	>40	700
RAS 2000	≤ 60	500 – 2000

Fuente: AZEVEDO J. M., ACOSTA, G., MANUAL DE HIDRÁULICA.

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

**Tabla 40: COEFICIENTE MANNING PARA MATERIALES ESPECÍFICOS**

TIPO DE PLACA	n
Asbesto Cemento	0.010
Laminas Lisas de Polímeros	0.012
Concreto Áspero	0.016
Acero Galvanizado	0.014
Hierro Fundido	0.013
Acero Soldado sin Revestir	0.013

Fuente: AZEVEDO J. M., ACOSTA, G., MANUAL DE HIDRÁULICA, NORMAS AWWA, RAS, DISEÑO DE FLOCULADORES DE FLUJO HORIZONTAL.

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

## CAPITULO III

### 3. DISEÑO

#### 3.1. Cálculos

##### 3.1.1. *Diseño del tanque de almacenamiento*

##### 3.1.1.1. *Cálculo de los lados del tanque*

De la ecuación 1

$$l = \sqrt[3]{82,8}$$

$$l = 4,36m$$

##### 3.1.1.2. *Tiempo de llenado de por tanque*

De la ecuación 2:

$$t = \frac{72000}{1,5 \cdot 3600}$$

$$t = 13,33h$$

### **3.1.2. Diseño del canal parshall**

#### **3.1.2.1. Lámina de agua**

De la ecuación 3:

$$ha = \left( \frac{0,08}{0,381} \right)^{\frac{1}{1,580}}$$
$$ha = 0,372m$$

#### **3.1.2.2. Cálculo de la canaleta en la sección media**

De la ecuación 4

$$Wa = \frac{2}{3}(0,4 + 0,1524) + 0,1524$$
$$Wa = 0,3174m$$

#### **3.1.2.3. Cálculo de velocidad del agua**

De la ecuación 5:

$$Va = \frac{0,08}{0,46(0,372)}$$

$$Va = 0,4675 \frac{m}{s}$$

#### 3.1.2.4. Cálculo de la energía total disponible

Energía sección 1

Ley de Bernoulli

De la ecuación 6:

$$E_1 = \frac{(0,4675)^2}{2(9,81)} + 0,4675 + 0,114$$

$$E_1 = 0,5926m$$

Energía sección 2

De la ecuación 7:

$$E_2 = \frac{Va^2}{2g} + h_2$$

#### 3.1.2.5. Cálculo de la velocidad en la sección 2

Igualando la ecuación 6 y la ecuación 7 (considerando que no hay pérdidas de fricción entre 1 y 2)

$$\begin{aligned}
 E_2 &= E_1 \\
 0,5926 &= \left( \frac{0,08}{0,1524 * h_2} \right)^2 * \frac{1}{2(9,81)} + h_2 \\
 0,5926 &= \frac{0,01404}{h_2^2} + h_2 \\
 0,5926 &= \frac{0,01404}{h_2^2} + h_2 \\
 0,5926h_2^2 &= 0,01404 + h_2^3 \\
 h_2^3 - 0,5926h_2^2 + 0,01404 &= 0 \\
 \mathbf{h_2} &= \mathbf{0,1855m}
 \end{aligned}$$

Mediante análisis numéricos al Tanteo

De la ecuación 8:

$$\begin{aligned}
 V_2 &= \frac{0,08}{0,1524 * (0,1855)} \\
 V_2 &= 2,829 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

### 3.1.2.6. Determinación de la lámina del resalto

De la ecuación 9:

$$\begin{aligned}
 h_b &= 0,1855 - 0,114 \\
 h_b &= 0,0715m
 \end{aligned}$$

### 3.1.2.7. *Chequeo del grado de sumergencia para verificar condiciones de aforador*

De la ecuación 10:

$$S = \frac{0,0715}{0,372} = 0,1922$$

$$S < 0,6$$

$$S = 0,1922$$

$$0,1922 < 0,6$$

### 3.1.2.8. *Cálculo del número de Froude*

De la ecuación 11:

### **Sección 3**

$$F_2 = \sqrt{\frac{(2,829)^2}{(0,1855)(9,81)}}$$

$$F_2 = 2,097$$

### 3.1.2.9. *Cálculo de la lámina de agua al final del trecho divergente*

Aplicando la ecuación del resalto hidráulico

De la ecuación 12:

$$h_3 = \frac{0,1855}{2} (\sqrt{1 + 8(2,097)^2} - 1)$$
$$h_3 = 0,46m$$

Cálculo de la lámina de agua al final de la canaleta

#### Sección 4

De la ecuación 13:

$$h_4 = 0,46 - (0,114 - 0,076)$$
$$h_4 = 0,422m$$

#### 3.1.2.10. Cálculo del tiempo medio de mezcla

De la ecuación 14:

Cálculo de la velocidad media

$$Vm = \frac{0,481 + 1,141}{2}$$
$$Vm = 0,811 \frac{m}{s}$$

### 3.1.2.11. Tiempo medio de mezcla

De la ecuación 15:

$$t\bar{m} = \frac{0,61}{0,811}$$

$$t\bar{m} = 0,75s$$

### 3.1.2.12. Principio de energía de Bernoulli para determinación de pérdidas

De la ecuación 16:

$$\Delta h = \frac{(0,4675)^2}{2(9,81)} + 0,372 + 0,114 - \left[ \frac{0,481^2}{2(9,81)} + 0,422(0,114 - 0,076) \right]$$

$$\Delta h = 0,0253m$$

### 3.1.2.13. Gradiente de velocidad

De la ecuación 17:

$$G = \sqrt{\frac{9791(0,0253)}{0,00104(0,755)}}$$

$$G = 563,54s^{-1}$$

**3.1.2.14. Cálculo de la elevación de la cresta por encima del fondo del canal "x"**

De la ecuación 18:

$$X = 0,5 - 0,422$$

$$X = 0,078m$$

Se recomienda para X un factor de seguridad del 15%

$$X = 0,078 * 1,15$$

$$X = 0,0897 \cong 0,09m$$

**3.1.2.15. Longitud de desarrollo del resalto (l)**

De la ecuación 19:

$$L = 6(0,46 - 0,1855)$$

$$L = 1,647m$$

**3.1.2.16. Datos de salida del canal parshall**

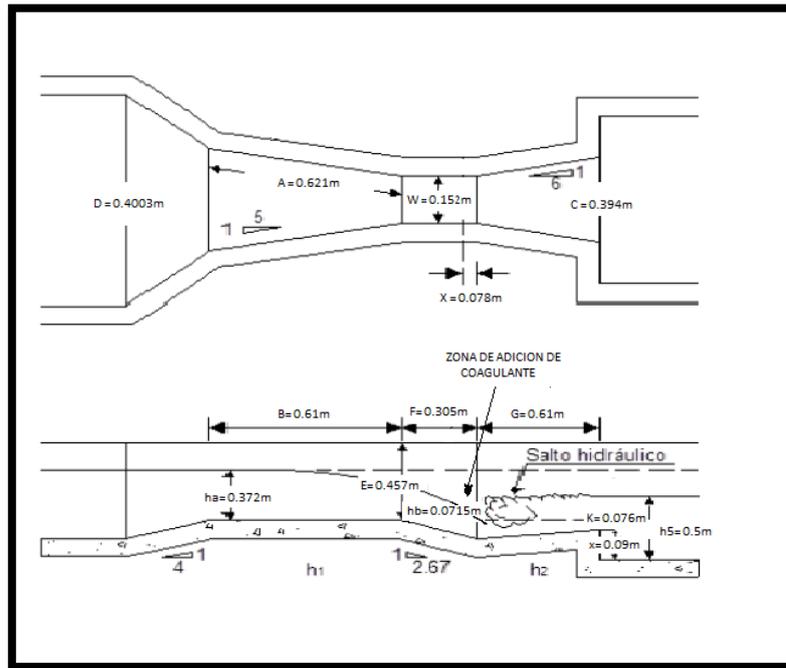
De la ecuación 20:

$$Q_s = 0,481(0,394)(0,372)$$

$$Q = 0,0705 \frac{m^3}{s}$$

$$V_4 = 0,481 \frac{m}{s}$$

### ILUSTRACIÓN 3: dimensionamiento del canal parshall



Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

#### 3.1.2.17. Cálculos de la dosificación de PCA (Policloruro de Aluminio)

### VOLUMEN A TRATAR

De la ecuación 21:

$$V = 3600(0,0705). (12)$$

$$V = 3045,6 m^3$$

### 3.1.2.18. Cálculo de la cantidad de PCA

De la ecuación 22:

$$V_{PCA\ 3,5\%} = \frac{(3045)x(1,2x10^{-5})}{1x10^{-3}}$$
$$V_{PCA\ 3,5\%} = 36,55\ m^3\ PCA_{3,5\%}$$

### 3.1.2.19. Cálculo de la masa de PCA

De la ecuación 23:

$$M_{PCA} = \frac{3,5(36,55)}{100}$$
$$M_{PCA} = 1,27\ Kg\ de\ PCA$$

### 3.1.3. Diseño del floculador

#### 3.1.3.1. Datos de entrada al floculador

$$V_s = 0,481\ \frac{m}{s}$$
$$A_s = 0,147\ m^2$$
$$Q_s = 0,0705\ \frac{m^3}{s}$$

### 3.1.3.2. Área de los canales

De la ecuación 24:

$$A = \frac{0,0705}{0,481}$$
$$A = 0,147m^2$$

### 3.1.3.3. Determinación del volumen del Floculador

De la ecuación 25:

$$V_f = 0,0705(22)(60)$$
$$V_f = 93,06m^3$$

### 3.1.3.4. Ancho total

De la ecuación 26:

$$B = \sqrt{\frac{93,06}{2,75(1)}}$$
$$B = 5,81m \cong 6m$$

### 3.1.3.5. *Determinación del ancho de las cámaras*

De la ecuación 27:

$$b = \frac{6}{4}$$
$$b = 1.5m$$

### 3.1.3.6. *Diseño de la primera cámara*

Tramo 1

### 3.1.3.7. *Determinar el número de canales de la primera cámara.*

De la ecuación 28:

$$NC = 0.045 \sqrt[3]{\left(\frac{1 \times 16 \times 75}{0705}\right)^2 \times \left(\frac{22}{4} \times 60\right)}$$
$$NC = 51,45 \cong 52$$

### 3.1.3.8. *Espaciamiento entre pantalla*

De la ecuación 29:

$$s = \frac{16}{52}$$

$$s = 0,298m$$

**3.1.3.9. Cálculo del espacio entre las pantallas y el muro del floculador.**

De la ecuación 30:

$$B''_1 = 1.5 \times 0.298$$

$$B''_1 = 0.449m$$

**3.1.3.10. Velocidad entre pantallas o canales**

De la ecuación 31:

$$V_P = \frac{0,0705}{(0,298)(1)}$$

$$V_P = 0,236 \text{ m/s}$$

**3.1.3.11. Velocidad de la vuelta**

De la ecuación 32:

$$V_v = \frac{2}{3}(0,236)$$

$$V_v = 0,157 \text{ m/s}$$

**3.1.3.12.** *Longitud total recorrida en la cámara*

De la ecuación 33:

$$L_R = 60(0,236) \left( \frac{22}{4} \right)$$

$$L_R = 77,88 \text{ m}$$

**3.1.3.13.** *Cálculo de la pérdida de carga total en la cámara.*

De la ecuación 34:

$$A = \frac{0,0705}{0,236}$$

$$A = 0,298 \text{ m}^2$$

**3.1.3.14.** *Longitud mojada*

De la ecuación 35:

$$a = \frac{A}{h_a}$$

$$a = \frac{0,298}{0,372}$$

$$a = 0,801m$$

### 3.1.3.15. Perímetro

De la ecuación 36:

$$P = 2(0,372) + 0,801$$

$$P = 1,545m$$

### 3.1.3.16. Radio hidráulico

De la ecuación 37:

$$Rh = \frac{0,298}{1,545}$$

$$Rh = 0,192m$$

### 3.1.3.17. Pérdida de energía interna del canal

De la ecuación 38:

$$hp_c = \left( \frac{\sqrt{77,88} \times 0,236 \times 0,012}{(0,192)^{2/3}} \right)^2$$

$$h_{p_c} = 0,00563m$$

### 3.1.3.18. Pérdidas de carga en las vueltas

De la ecuación 39:

$$h_{p_v} = \frac{(52 + 1)(0,236)^2 + 52 * (0,157)^2}{2(9,821)}$$
$$h_{p_v} = 0,215m$$

### 3.1.3.19. Pérdida total

De la ecuación 40:

$$h_{p_T} = 0,00563 + 0,215$$
$$h_{p_T} = 0,2206m$$

### 3.1.3.20. Verificación del gradiente.

De la ecuación 41:

$$G_{f1} = 3068,29 \left( \frac{0,2206}{5,5 * 60} \right)^{0,5}$$

$$G_{f1} = 79,33s^{-1} \cong 75 s^{-1}$$

### 3.1.3.21. *Diseño de la segunda cámara*

De la ecuación 28:

$$NC_2 = 0,045 \sqrt[3]{\left(\frac{1 \times 16 \times 60}{0,0705}\right)^2 \left(\frac{22}{4}\right)}$$
$$NC_2 = 44,34 \cong 45$$

### 3.1.3.22. *Espaciamiento entre pantallas*

De la ecuación 29:

$$s_2 = \frac{16}{45}$$
$$s_2 = 0,344m$$

### 3.1.3.23. *Espacio entre la pantalla y el muro del floculador*

De la ecuación 30:

$$B''_2 = 1.5 \times 0,344m$$

$$B''_2 = 0.525m$$

**3.1.3.24. Velocidad entre pantallas o canales**

De la ecuación 31:

$$V_{P2} = \frac{0,0705}{(0,344)(1)}$$
$$V_{P2} = 0,2049 \text{ m/s}$$

**3.1.3.25. Velocidad de la vuelta**

De la ecuación 32:

$$V_{v2} = \frac{2}{3}(0,2049)$$
$$V_{v2} = 0,1366 \text{ m/s}$$

**3.1.3.26. Longitud total recorrida en la cámara**

De la ecuación 33:

$$L_{R2} = 60(0,2049) \left( \frac{22}{4} \right)$$

$$L_{R2} = 67,617 \text{ m}$$

### 3.1.3.27. Cálculo de la pérdida de carga total en la cámara

De la ecuación 34:

$$A_2 = \frac{0,0705}{0,2049}$$
$$A_2 = 0,344 \text{ m}^2$$

### 3.1.3.28. Longitud mojada

De la ecuación 35:

$$a_2 = \frac{0,344}{0,372}$$
$$a_2 = 0,924 \text{ m}$$

### 3.1.3.29. Perímetro

De la ecuación 36:

$$P_2 = 2(0,372) + 0,924$$
$$P_2 = 1,668 \text{ m}$$

### 3.1.3.30. Radio hidráulico

De la ecuación 37:

$$Rh_2 = \frac{0,344}{1,668}$$
$$Rh_2 = 0,206m$$

### 3.1.3.31. Pérdida de energía interna del canal

De la ecuación 38:

$$hp_{c2} = \left( \frac{\sqrt{67,617} \times 0,2049 \times 0,012}{(0,206)^{2/3}} \right)^2$$
$$hp_{c2} = 0,0033m$$

### 3.1.3.32. Pérdidas de carga en las vueltas

De la ecuación 39:

$$hp_{v2} = \frac{(42 + 1)(0,2049)^2 + 42 * (0,1366)^2}{2(9,821)}$$
$$hp_{v2} = 0,1318m$$

### 3.1.3.33. Pérdida total

De la ecuación 40:

$$h_{PT2} = 0,0033 + 0,1318$$

$$h_{PT2} = 0,1351m$$

### 3.1.3.34. Verificación del gradiente.

De la ecuación 41:

$$G_{f2} = 3068,29 \left( \frac{0,1351}{5,5 * 60} \right)^{0,5}$$

$$G_{f2} = 62,08s^{-1} \cong 60s^{-1}$$

### 3.1.3.35. Diseño de la tercera cámara

### 3.1.3.36. Determinar el número de canales de la tercera cámara.

De la ecuación 28:

$$NC_3 = 0,045 \sqrt[3]{\left( \frac{1x16x45}{0,0705} \right)^2 * \left( \frac{22}{4} \right)}$$

$$NC_3 = 36,60 \cong 37$$

**3.1.3.37.** *Espaciamiento entre pantallas.*

De la ecuación 29:

$$s_3 = \frac{16}{37}$$
$$s_3 = 0,43m$$

**3.1.3.38.** *Espacio entre la pantalla y el muro del floculador*

De la ecuación 30:

$$B''_3 = 1.5 \times s_2$$
$$B''_3 = 1.5 \times 0,43$$
$$B''_3 = 0.648m$$

**3.1.3.39.** *Velocidad entre pantallas o canales*

De la ecuación 31:

$$V_{P3} = \frac{0,0705}{(0,418)(1)}$$

$$V_{P3} = 0,168 \text{ m/s}$$

### 3.1.3.40. *Velocidad en la vuelta*

De la ecuación 32:

$$V_{v3} = \frac{2}{3}(0,168)$$

$$V_{v3} = 0,112 \text{ m/s}$$

### 3.1.3.41. *Longitud total recorrida en la cámara*

De la ecuación 33:

$$L_{R3} = 60(0,168) \left( \frac{22}{4} \right)$$

$$L_{R3} = 55,44 \text{ m}$$

### 3.1.3.42. *Cálculo de la pérdida de carga total en la cámara*

De la ecuación 34:

$$A_3 = \frac{0,0705}{0,168}$$

$$A_3 = 0,419m^2$$

### 3.1.3.43. Longitud mojada

De la ecuación 35:

$$a_3 = \frac{0,419}{0,372}$$
$$a_3 = 1,126m$$

### 3.1.3.44. Perímetro

De la ecuación 36:

$$P_2 = 2(0,372) + 1,126$$
$$P_3 = 1,87m$$

### 3.1.3.45. Radio hidráulico

De la ecuación 37:

$$Rh_3 = \frac{0,419}{1,87}$$
$$Rh_3 = 0,2240m$$

### 3.1.3.46. Pérdida de energía interna del canal

De la ecuación 38:

$$h_{p_{c3}} = \left( \frac{\sqrt{55,44} \times 0,168 \times 0,012}{(0,2240)^{2/3}} \right)^2$$
$$h_{p_{c3}} = 0,0016m$$

### 3.1.3.47. Pérdidas de carga en las vueltas

De la ecuación 39:

$$h_{p_{v3}} = \frac{(37 + 1)(0,168)^2 + 37 * (0,112)^2}{2(9,821)}$$
$$h_{p_{v3}} = 0,0782m$$

### 3.1.3.48. Pérdida total

De la ecuación 40:

$$h_{PT3} = 0,0016 + 0,0782$$
$$h_{PT3} = 0,0798m$$

**3.1.3.49. Verificación del gradiente.**

De la ecuación 41:

$$G_{f3} = 3068,29 \left( \frac{0,0798}{5,5 * 60} \right)^{0,5}$$
$$G_{f3} = 46,25 \cong 45s^{-1}$$

**3.1.3.50. Diseño de la cuarta cámara**

**3.1.3.51. Determinar el número de canales de la cuarta cámara.**

De la ecuación 28:

$$NC_4 = 0,045 \sqrt[3]{\left( \frac{1x16m30}{0,0705} \right)^2 \left( \frac{22}{4} \right)}$$
$$NC_4 = 27,93 \cong 28$$

**3.1.3.52. Espaciamiento entre pantallas.**

De la ecuación 29:

$$s_4 = \frac{16}{28}$$

$$s_4 = 0,57m$$

**3.1.3.53. Espacio entre la pantalla y el muro del floculador**

De la ecuación 30:

$$B''_4 = 1.5 \times s_4$$
$$B''_4 = 1.5 \times 0,57$$
$$B''_4 = 0.85m$$

**3.1.3.54. Velocidad entre pantallas o canales**

De la ecuación 31:

$$V_{P4} = \frac{0,0705}{(0,55)(1)}$$
$$V_{P4} = 0,128 \text{ m/s}$$

**3.1.3.55. Velocidad de la vuelta**

De la ecuación 32:

$$V_{v4} = \frac{2}{3}(0,128)$$
$$V_{v4} = 0,085 \text{ m/s}$$

**3.1.3.56. Longitud total recorrida en la cámara**

De la ecuación 33:

$$L_{R4} = 60(0,128)(5,5)$$

$$L_{R4} = 42,24 \text{ m}$$

**3.1.3.57. Cálculo de la pérdida de carga total en la cámara**

De la ecuación 34:

$$A_4 = \frac{0,0705}{0,128}$$

$$A_4 = 0,55 \text{ m}^2$$

**3.1.3.58. Longitud mojada**

De la ecuación 35:

$$a_4 = \frac{0,55}{0,372}$$

$$a_4 = 1,478 \text{ m}$$

### 3.1.3.59. *Perímetro*

De la ecuación 36:

$$P_4 = 2(0,372) + 1,478$$

$$P_4 = 2,222m$$

### 3.1.3.60. *Radio hidráulico*

De la ecuación 37:

$$Rh_4 = \frac{0,55}{2,222}$$

$$Rh_4 = 0,247m$$

### 3.1.3.61. *Pérdida de energía interna del canal*

De la ecuación 38:

$$hp_{c3} = \left( \frac{\sqrt{42,24} \times 0,128 \times 0,012}{(0,247)^{2/3}} \right)^2$$

$$hp_{c4} = 0,00064m$$

### 3.1.3.62. Pérdidas de carga en las vueltas

De la ecuación 39:

$$h_{p_{v4}} = \frac{(28 + 1)(0,128)^2 + 28(0,085)^2}{2(9,821)}$$
$$h_{p_{v4}} = 0,0344m$$

### 3.1.3.63. Pérdida total

De la ecuación 40:

$$h_{p_{T4}} = 0,00064 + 0,0344$$
$$h_{p_{T4}} = 0,035m$$

### 3.1.3.64. Verificación del gradiente.

De la ecuación 41:

$$G_{f4} = 3068,29 \left( \frac{0,035}{5,5 * 60} \right)^{0,5}$$
$$G_{f4} = 31,59 \cong 30s^{-1}$$

### 3.1.4. *Diseño de un sedimentador*

Sedimentador de Alta Demanda

$$Q_{en} = A_4 * V_{v4}$$
$$Q_{en} = 0,55 \text{ (0,085)}$$
$$Q_{en} = 0,0467 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 3.1.4.1. *Cálculo del área superficial de la zona*

De la ecuación 34:

$$A_s = \frac{0,0467}{2(2,083 \times 10^{-3})}$$
$$A_s = 11,21 \text{ m}^2$$

#### 3.1.4.2. *Cálculo de la longitud del sedimentador*

De la ecuación 42:

$$L_2 = \frac{11,21}{2}$$
$$L_2 = 5,605 \text{ m}$$

La pantalla difusora se debe encontrar a 0,7m- 1m (Tabla 31).

$$L = 1 + 5,605$$

$$L = 6,605m$$

### 3.1.4.3. *Comprobación de la relación*

De la ecuación 43:

$$\frac{L}{B} = \frac{6,605}{2}$$

$$\frac{L}{B} = 3,3$$

### 3.1.4.4. *Relación entre la longitud y la altura.*

De la ecuación 44:

$$\frac{L}{H} = 7$$

$$H = \frac{6,605}{7}$$

$$H = 0,943 \times 1,15$$

$$H = 1,08m$$

### 3.1.4.5. *Velocidad horizontal*

De la ecuación 45:

$$V_H = \frac{100(0,0467)}{(2)(0,943)}$$
$$V_H = 2,47 \text{ m/s}$$

### 3.1.4.6. *Tiempo de retención*

$$V = A_s \times h$$
$$V = 11,21 \text{ m}^2(0,943\text{m})$$
$$V = 2448,39\text{m}^3$$

De la ecuación 46:

$$T_R = \frac{2448,39}{3600(0,0467)}$$
$$T_R = 14,56\text{h}$$

### 3.1.4.7. *Altura máxima*

De la ecuación 47:

El fondo del tanque tendrá una pendiente de 10%

$$\hat{H} = 1,08 + 0,1x6,605$$

$$\hat{H} = 1,74m$$

#### **3.1.4.8. *Altura del agua***

De la ecuación 48:

$$H_2 = \left( \frac{0,0467}{1,843} \right)^{2/3}$$

$$H_2 = 0,086m$$

#### **3.1.4.9. *Cálculo de los orificios***

De la ecuación 49:

$$A_o = \frac{0,0467}{0,1}$$

$$A_o = 0,467m^2$$

#### **3.1.4.10. *Área de cada orificio***

De la ecuación 50:

$$a_o = \pi \left( \frac{0,05}{2} \right)^2$$

$$a_o = 0,0019m^2$$

### 3.1.4.11. Número de orificios

De la ecuación 51:

$$n = \frac{0,467}{0,0019}$$

$$n = 245$$

### 3.1.4.12. Cálculo de la altura de orificios en la pared

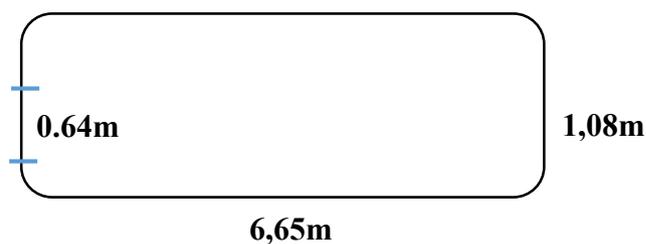
De la ecuación 52:

$$h = 1,08m - \frac{2}{5}(1,08m)$$

$$h = 0,648m$$

### 3.1.4.13. Variación homogénea de los orificios

#### ILUSTRACIÓN 4: Ubicación de los agujeros en la pantalla difusora



Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

✓ **Espacio entre filas.**

De la ecuación 53:

$$e_f = \frac{0,64}{10}$$
$$e_f = 0.064m$$

✓ **Espacio entre columnas**

De la ecuación 54:

$$e_c = \frac{2 - 0,064(25 - 1)}{2}$$
$$e_c = 0,232m$$

Cálculo del caudal de salida

De la ecuación 55:

$$Q_{sal} = \frac{0,0467}{2.03}$$
$$Q_{sal} = 0,023 \text{ m}^3/\text{s}$$

**3.1.5. Diseño del filtro lento de arena**

## DATOS DE ENTRADA AL FILTRO LENTO DE ARENA.

$$V_{filtracion} = 1,11 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$Q_{entrada} = 0,023 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{filtracion} = 3,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 3.1.5.1. Número de unidades

De la ecuación 56:

$$Nu = \frac{\sqrt{0,023}}{4}$$
$$Nu = 0,037 \cong 1$$

### 3.1.5.2. Área del medio filtrante

De la ecuación 57:

$$Am = \frac{0,023 \text{ m}^3/\text{s}}{2(1,11 \times 10^{-4} \text{ m/s})}$$
$$Am = 103,6 \text{ m}^2 \cong 104 \text{ m}^2$$

**3.1.5.3. Coeficiente de mínimo costo.**

De la ecuación 58:

$$Kc = \frac{2(2)}{2 + 1}$$

$$Kc = 1,333$$

**3.1.5.4. Largo de la unidad.**

De la ecuación 59:

$$Lu = \sqrt{(104) \cdot (1,333)}$$

$$Lu = 11.76 \text{ m}$$

**3.1.5.5. Ancho de cada unidad.**

De la ecuación 60:

$$Bu = \sqrt{\frac{104}{1,333}}$$

$$Bu = 8,83 \text{ m}$$

### 3.1.5.6. Velocidad de filtración real

De la ecuación 61:

$$Vr = \frac{0,023}{2(11,76) \cdot (8,83)}$$
$$Vr = 1,1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

### 3.1.5.7. Determinación del $d_{arena}$ , $d_{gravilla}$ , $d_{grava}$ .

Para el filtro:  $d_{arena} = 0,5$  mm. Y para ello determinaremos el diámetro de la grava y la gravilla.

### 3.1.5.8. Determinación del diámetro de la gravilla.

De la ecuación 62:

$$d_{gravilla} < 5 (d_{arena})$$
$$d_{gravilla} < 5(0,5)$$
$$d_{gravilla} < 2,5 \text{ mm}$$
$$d_{gravilla} = d_{gravilla} - d_{arena}$$
$$d_{gravilla} = 2,5 - 0,5$$
$$d_{gravilla} = 2 \text{ mm}$$

### 3.1.5.9. Determinación del diámetro de grava.

De la ecuación 63:

$$d_{grava} < 25 (d_{arena})$$

$$d_{grava} < 25(0,5)$$

$$d_{grava} < 12,5 \text{ mm}$$

$$d_{grava} = d_{grava} - d_{arena}$$

$$d_{grava} = 12,5 - 0,5$$

$$d_{grava} = 12\text{mm}$$

### 3.1.5.10. Caudal de salida del filtro

De la ecuación 64:

$$Q_{sal} = \frac{0.023 \text{ m}^3/\text{s}}{1.43}$$

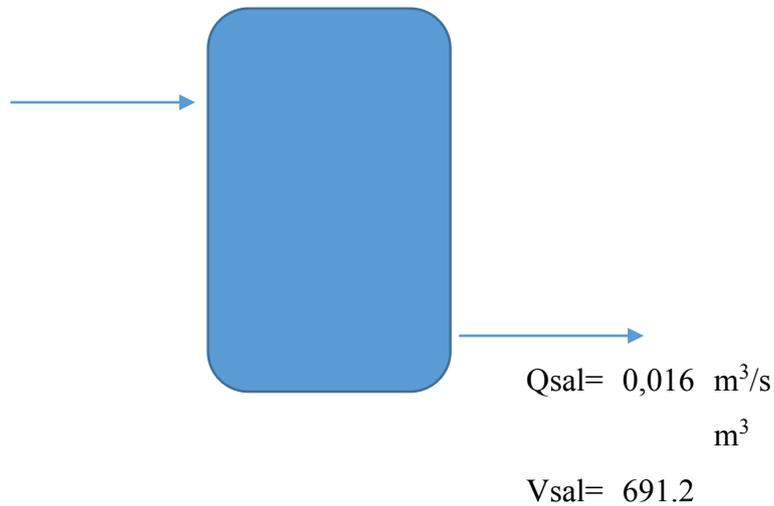
$$Q_{sal} = 0,016 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

### 3.1.5.11. Cálculo de la altura del filtro

#### ILUSTRACIÓN 5: Balance volumétrico del Filtro de Arena

$$Q_{en} = 0,023 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{en} = 993.6 \text{ m}^3$$



Fuente: Juan Carlos Hidalgo

De la ecuación 65:

$$993.6 = V_{ac} + 691.2$$

$$V_{ac} = 302.4 \text{ m}^3$$

✓ Con el volumen de acumulación determinamos la altura el filtro.

De la ecuación 66:

$$h = \frac{302.4}{(11.76) \times (8.83)}$$

$$h = 2.91 \text{ m}$$

$$h = 2.91 \times 1.10 = 3.20 \text{ m}$$

✓ Considerando un 10% de seguridad en la altura se tiene 3.35m

### **3.1.5.12. Cálculo de la altura del desagüe**

De la ecuación 67:

$$h_{desague} = \frac{3.35}{6.7}$$
$$h_{desague} = 0.5 \text{ m}$$

### **3.1.6. Diseño del filtro de resina catiónica**

#### **3.1.6.1. Datos de entrada al filtro de resina catiónica.**

$$Q_{en} = 0,016 \text{ m}^3/\text{s}$$

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

#### **3.1.6.2. Determinación del volumen de agua a tratar**

De la ecuación 24:

$$V = 0,016 \times 43200$$

$$V = 691,2 \text{ m}^3$$

### 3.1.6.3. Masa de resina a utilizar

De la ecuación 68:

$$M = \frac{5 (691,2)}{6}$$
$$M = 576 \text{ Kg de resina.}$$

### 3.1.6.4. Volumen de resina a utilizar

De la ecuación 69:

$$V_{resina} = \frac{m}{\rho}$$
$$V_{resina} = \frac{576}{820}$$
$$V_{resina} = 0,7m^3$$

### 3.1.6.5. Cálculo del diámetro del filtro

De la ecuación 70:

$$r_{resina} = \sqrt{\frac{0,7}{\pi (0,035)}}$$

$$r_{resina} = 2.5m$$

$$d_{filtro} = 5m$$

### 3.1.6.6. Cálculo del caudal de salida del filtro

De la ecuación 71:

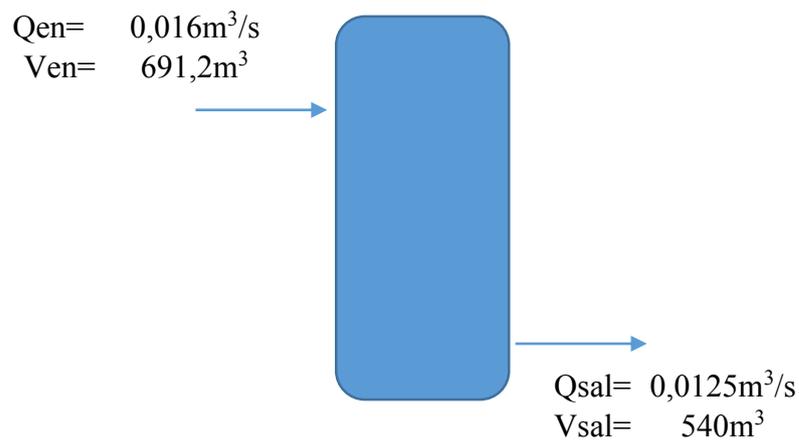
$$Q_{sal} = \frac{Q_{en}}{1.28}$$

$$Q_{sal} = \frac{0.016}{1.28}$$

$$Q_{sal} = 0.0125 \frac{m^3}{s}$$

### 3.1.6.7. Cálculo de la altura del agua dentro del filtro

#### ILUSTRACIÓN 6: Balance volumétrico del filtro de resina catiónica.



Fuente: Juan Carlos Hidalgo

#### Balance volumétrico del filtro

De la ecuación 72:

$$V_{ac} = 691,2 - 540$$

$$V_{ac} = 151,2 \text{ m}^3$$

De la ecuación 73:

$$h_{agua} = \frac{151,2}{\pi (2,5)^2}$$

$$h_{agua} = 7,70 \text{ m} \times 1,10$$

$$h_{agua} = 8,86 \text{ m}$$

Con el 10% de seguridad la altura es de 8.86m.

### **3.1.6.8. Determinación del área de salida de filtrado**

De la ecuación 24:

$$A_{filtrado} = \frac{0,008}{6,62 \times 10^{-3}}$$

$$A_{filtrado} = 1,2 \text{ m}^2$$

### **3.1.6.9. Cálculo de la altura del desagüe del filtro.**

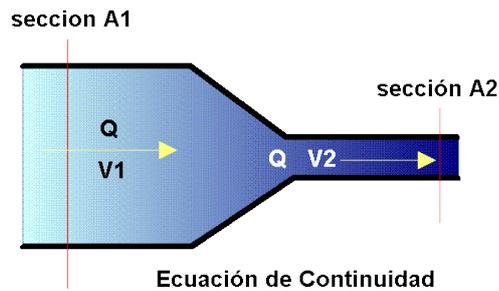
De la ecuación 74:

$$h_{salida} = h_{filtro} \times 0,15$$

$$h_{salida} = 7.7 \text{ m} \times 0.15$$

$$h_{salida} = 1.15 \text{ m}$$

**3.1.6.10.** *Cálculo de la velocidad a la salida del filtro.*



**Fuente:** <http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4918/html/TEO001.gif>

De la ecuación 75:

$$V_2 = \frac{A_1 \cdot V_1}{A_2}$$

$$V_2 = \frac{\pi (2,5\text{m})^2 \cdot 6,62 \times 10^{-3} \text{m/s}}{1,2 \text{ m}^2}$$

$$V_2 = 0,034 \text{ m/s}$$

### 3.1.7. Cálculos adicionales

**3.1.7.1.** *Cálculo del volumen de salmuera de activación.*

De la ecuación 76:

$$V_{\text{salmuera}} = 691 (1 \times 10^{-3})$$

$$V_{\text{salmuera}} = 0,69 \text{ m}^3 \text{ de sol NaCl } 8\%$$

### 3.1.7.2. Cálculo de la masa de NaCl al 8%.

De la ecuación 77:

$$M_{\text{NaCl}} = \frac{8(0,69)}{100}$$

$$M_{\text{NaCl}} = 0,055 \text{ Kg de NaCl.}$$

### 3.1.7.3. Cálculo de la cantidad de agua de lavado de la resina.

De la ecuación 78:

Como vamos a usar 576 Kg de resina se tiene:

$$V_L = \frac{160. (576)}{5}$$

$$V_L = 1,84 \text{ m}^3 \text{ de agua de lavado}$$

Por lo que para el lavado de la resina se utilizara 1,84 m<sup>3</sup> de agua.

#### 3.1.7.4. Dosificación de cloro

De la ecuación 79:

$$V_{cloro} = 0,05 \cdot (345,6)$$
$$V_{cloro} = 17,3 \text{ L de Hipoclorito de Sodio}$$

Corresponde a utilizar 17,3 L de hipoclorito cada 12 horas (43200s).

#### 3.1.7.5. Cálculo de la potencia de la bomba del Filtro de resina al Tanque de almacenamiento.

De la ecuación 80:

$$P_{Bomba} = 1,34 \times 10^{-3} (9797) (0,0125) (3,79)$$
$$P_{Bomba} = 0,62 \text{ HP}$$

De la ecuación 81

$$P_{Real} = \frac{P_{Bomba}}{\varepsilon}$$
$$P_{Real} = \frac{0,62}{0,7}$$
$$P_{Real} = 0,88 \text{ HP} = 1 \text{ HP}$$

### 3.2. Resultados

Después de realizado la investigación y tomando en cuenta que los caudales de salida después de cada proceso van disminuyendo por los tiempos de retención y los volúmenes de salida, los resultados obtenidos son los siguientes:

#### 3.2.1. Caudal de entrada a la planta.

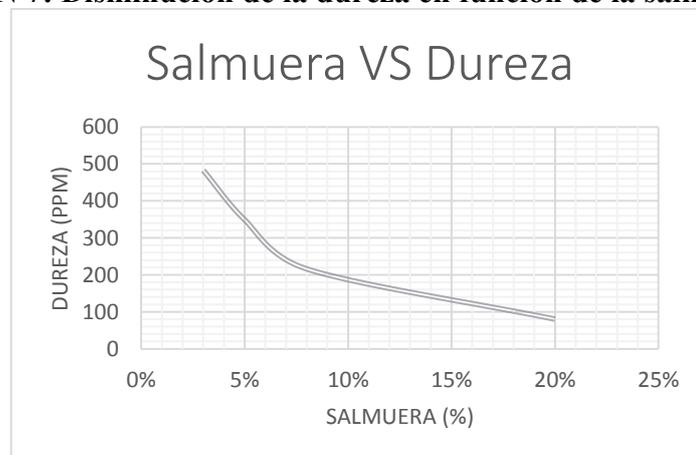
$$72000 \frac{L}{\text{día}} = 0,833 \frac{L}{s}$$

#### 3.2.2. Tanque recolector

El tanque recolector esta dado con las siguientes características. Su forma es cubica cuyos lados miden 4,36m.

#### 3.2.3. Resina catiónica

**ILUSTRACIÓN 7: Disminución de la dureza en función de la salmuera**



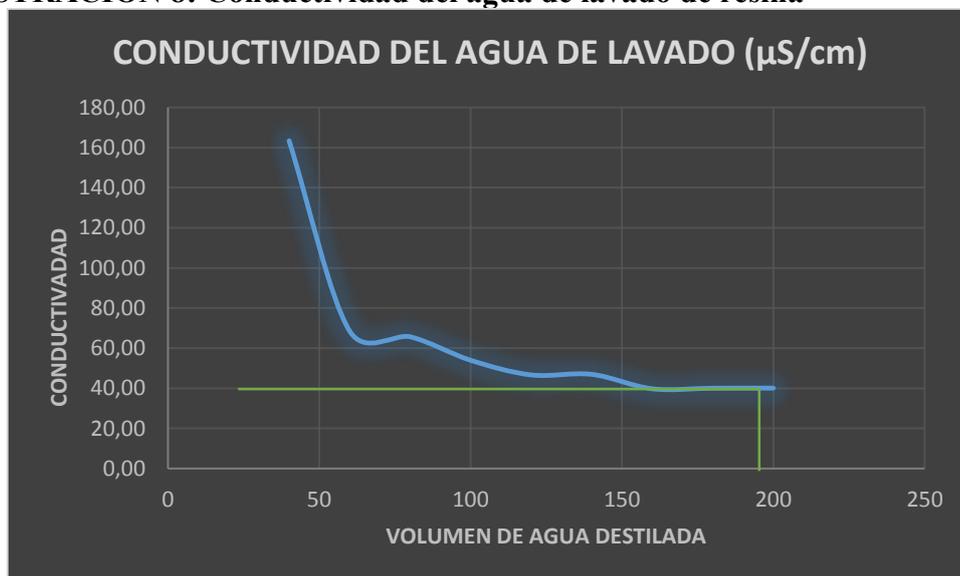
Fuente: Juan Carlos Hidalgo. 2015

**Tabla 41: SELECCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SALMUERA ÓPTIMA**

Concentración de Salmuera (g/mL)	Dureza Inicial (mg/L)	Dureza Final (mg/L)	Disminución	Porcentaje (%)
3%	536	483	53	9,89
5%	536	349	187	34,89
8%	536	216	320	59,7
20%	536	80	456	85,07

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo.

**ILUSTRACIÓN 8: Conductividad del agua de lavado de resina**



Fuente: Juan Carlos Hidalgo., 2015.

### 3.2.4. Policloruro de aluminio

La concentración de Policloruro de aluminio corresponde al 3,5%. Utilizando experimentalmente 12 mL de solución de PCA por cada litro de agua.

**Tabla 42: RELACIÓN DE CONCENTRACIÓN Y EFICIENCIA DEL PCA**

CONCENTRACIÓN DE PCA (%)	VOLUMEN (mL)	CONCENTRACIÓN DE FLUORUROS (PPM)	EFICIENCIA (%)
10	12	0.35	82.05
6	12	0.5	74.36
4	12	0.8	58.97
3.5	12	0.92	52.82
3	12	1.15	41.03

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo.

### **3.2.5. Volumen de solución de PCA**

Se debe aplicar un volumen de 36,55m<sup>3</sup> de solución de PCA al 3,5%.

### **3.2.6. Masa de PCA**

Para la preparación de 36,55m<sup>3</sup> de solución de PCA al 3,5% se requiere 0,055Kg de NaCl.

### **3.2.7. Masa de resina**

$$M = 576 \text{ Kg de resina.}$$

Se usa 576 Kg de resina por lo que se tiene: Para el lavado de la resina se utilizara 1,84 m<sup>3</sup> de agua.

Para la regeneración de la resina se utilizara salmuera al 8%, ya que experimentalmente se determinó que al 8%, la concentración de salmuera es lo suficientemente óptimo a nivel de costos y utilización de recursos.

### 3.2.8. Dosificación de cloro (hipoclorito de sodio)

**Tabla 43: DOSIFICACIÓN DE CLORO**

Concentración de Hipoclorito (mg/L)	Volumen utilizado (mL)	Cloro Residual (mg/L)*
5%	1	4,2
5%	0,7	3,8
5%	0,3	2,2
5%	0,05 (1 gota)	0,55

Fuente: Juan Carlos Hidalgo.

La dosificación de cloro como agente desinfectante es de 1 gota (1mL) por cada litro de agua. El cloro se añadirá después de la filtración final. Por lo que el caudal de salida es de  $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Corresponde a utilizar 345,6 L de hipoclorito cada 12 horas (43200s).

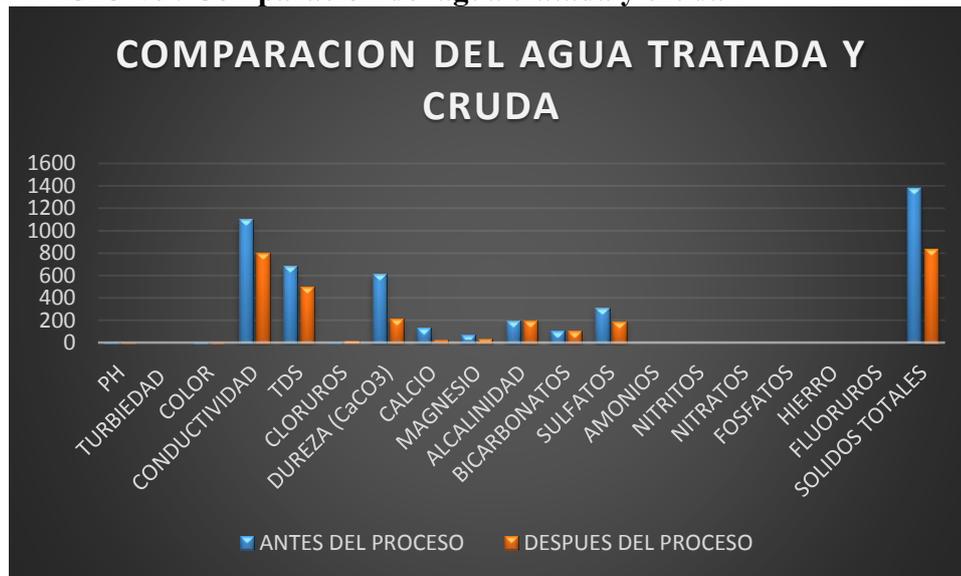
Obteniéndose así un agua con las siguientes características.

**Tabla 44: RENDIMIENTO DEL PROCESO POR CADA PARÁMETRO**

PARÁMETROS	ANTES DEL PROCESO	DESPUÉS DEL PROCESO	RENDIMIENTO DEL PROCESO POR CADA PARÁMETRO (%)
<b>TURBIEDAD</b>	3,5	0,72	79,43
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	1105	800	27,60
<b>DUREZA (CaCO<sub>3</sub>)</b>	616	216	64,94
<b>CALCIO</b>	134,4	24	82,14
<b>MAGNESIO</b>	68	37,9	44,26
<b>SULFATOS</b>	307,98	192	37,66
<b>NITRITOS</b>	0,03	0	100,00
<b>FOSFATOS</b>	0,17	0,15	11,76
<b>HIERRO</b>	0,32	0,13	59,38
<b>FLUORUROS</b>	1,95	0,92	52,82
<b>SOLIDOS TOTALES</b>	1376	840	38,95

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo.

### ILUSTRACIÓN 9: Comparación del agua tratada y cruda



Fuente: Juan Carlos Hidalgo., 2015.

### 3.3. Propuesta

Después de los cálculos realizados y visto los resultados, la propuesta del proyecto esta detallada de la siguiente manera:

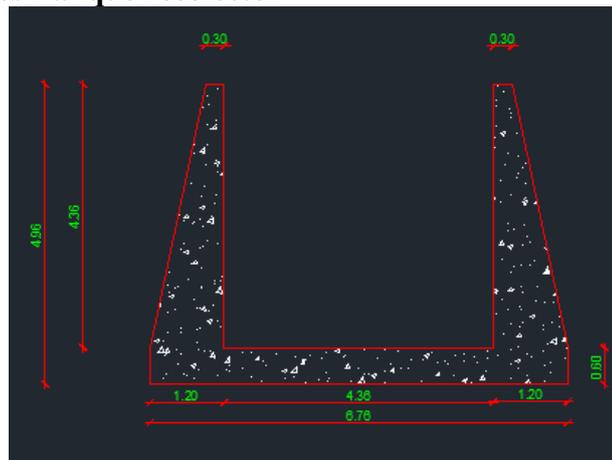
- ✓ RECOLECCIÓN DE AGUA
- ✓ MEZCLA RÁPIDA
- ✓ FLOCULACIÓN
- ✓ SEDIMENTACIÓN
- ✓ FILTRACIÓN
- ✓ CLORACIÓN

Siendo estos los procesos a utilizar en el tratamiento del agua subterránea.

## RECOLECCIÓN DE AGUA

El agua extraída del pozo es recolectada en un tanque cubico teniendo en cuenta que las personas consumirán 80 L/persona/día.

### ILUSTRACIÓN 10: Tanque recolector



Fuente: Juan Carlos Hidalgo., 2015.

Tabla 45: DIMENSIONES DEL TANQUE RECOLECTOR

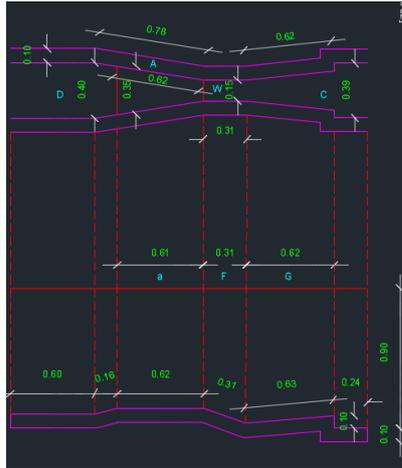
TANQUE DE RECOLECCIÓN		
Parámetro	Valor	Unidades
Lados	4.36	m
Espesor de la pared en la corona	0.30	m
Espesor de la pared en la base	0.60	m
Altura	4.96	m
Longitud	6.76	m

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo.

## MEZCLA RÁPIDA CANALETA PARSHALL

En el canal parshall se realizara la adición del coagulante PCA al 3.5%, determinado experimentalmente, para tratar el agua problema.

## ILUSTRACIÓN 11: Canal Parshall



Fuente: Juan Carlos Hidalgo., 2015.

**Tabla 46: DIMENSIONES DEL CANAL PARSHALL**

DIMENSIONES DEL CANAL PARSHALL		VALORES	UNIDADES
Long. Paredes sección convergente	A	0,621	m
Long. Sección convergente	B	0,61	m
Ancho de salida	C	0,394	m
Ancho de entrada sección convergente	D	0,4003	m
Profundidad total	E	0,457	m
Longitud de la garganta	F	0,305	m
Longitud de la sección divergente	G	0,61	m
Long. Paredes sección divergente	K	0,076	m
Diferencia de elevación entre salida y cresta	N	0,114	m
Ancho de la garganta	W	0,152	m
Coefficiente	k	0,381	m
Exponente	n	1,580	m
espesor de la paredes	e	0,1	m

Fuente: AZEVEDO J. M., ACOSTA, G., MANUAL DE HIDRÁULICA.

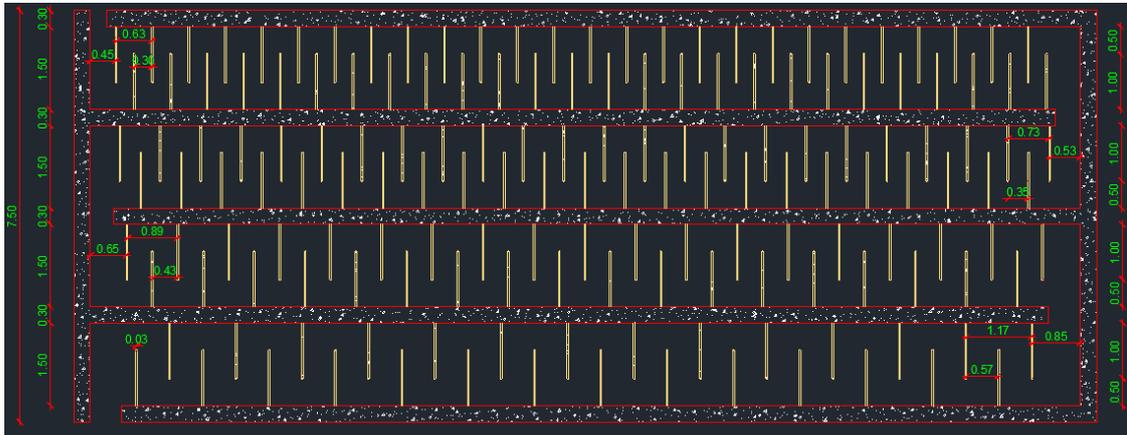
Realizado por: Juan Carlos Hidalgo

## FLOCULACIÓN

Mediante la adición de POLICLORURO DE ALUMINIO, en el agua se formaran reacciones, las cuales están guiadas por fuerzas de atracción en juego al azar de cargas positivas y negativas; aglomerándose entre sí las sustancias contaminantes como solidos

suspendidos y disueltos, sales de calcio y magnesio las mismas que provocan la dureza del agua, y los fluoruros.

### ILUSTRACIÓN 12: Floculador



Fuente: Juan Carlos Hidalgo., 2015.

**Tabla 47: DIMENSIONES DEL FLOCULADOR**

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Numero de cámaras	4	
Ancho de las cámaras	1.5	m
Espesor de la corona	0.30	m
Espesor de la base	0.60	m
Altura	1.60	m
Longitud	17.90	m
Ancho	7.50	m

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo.

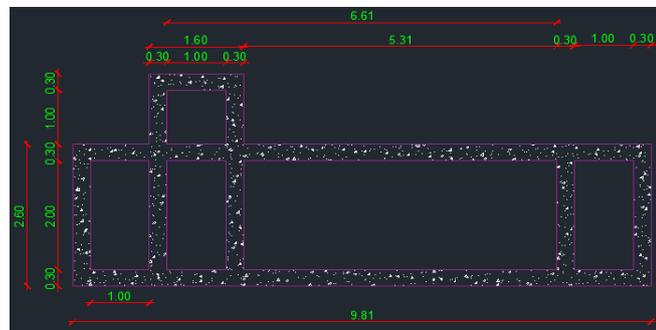
Parámetro	Cámara 1	Cámara 2	Cámara 3	cámara 4	Unidades
Número de canales	52	45	37	28	
espacio entre pantallas	0.30	0.35	0.43	0.57	m
Velocidad en vueltas	0.15	0.13	0.11	0.08	m/s
Velocidad entre las pantallas	0.23	0.20	0.17	0.13	m/s
Gradiente de velocidad	75	60	45	30	s <sup>-1</sup>

Realizado por: Juan Carlos Hidalgo.

## SEDIMENTACIÓN

Con la presencia de flóculos en el cuerpo del agua y por acción de la gravedad estos serán precipitados por lo que se hace necesario un sedimentador separando el agua de los residuos aglomerados (flóculos). De esta manera los parámetros de color, turbiedad y parte de la dureza disminuyen.

### ILUSTRACIÓN 13: Sedimentador



Fuente: Juan Carlos Hidalgo, 2015.

Tabla 48: DIMENSIONES DEL SEDIMENTADOR

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Ancho	2.60	m
Longitud	9.81	m
Altura	1.08	m
Atura más pendiente	2.04	m
Pantalla difusora	1	m
Espesor de la paredes	0.30	m
Altura de la zona de salida	1	m
Numero de filas de P. Difusora	10	
Numero de columnas de P. Difusora	25	

Fuente: Juan Carlos Hidalgo.

**Tabla 49: ESPESOR DE LAS CAPAS DEL LECHO FILTRANTE**

<b>MATERIAL</b>	<b>d (mm)</b>	<b>ESPESOR (m)</b>
<b>ARENA</b>	0,50	1,00
<b>GRAVILLA</b>	2,00	0,15
<b>GRAVA</b>	12,00	0,20

Fuente: Juan Carlos Hidalgo.

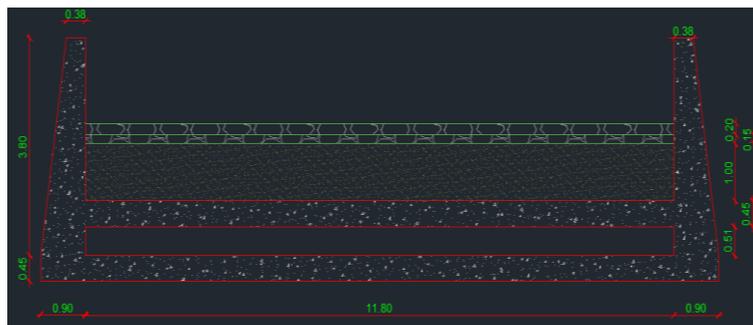
## FILTRACIÓN

La filtración se la realizara de dos maneras una filtración lenta con gravas, y la segunda con resina catiónica, para disminuir así la dureza y los demás cationes del agua ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ).

## FILTRACIÓN LENTA

A partir de esta filtración separaremos los residuos floculados de la sedimentación, este proceso lo hacemos ya que para aumentar el tiempo de vida de la resina, se requiere que el agua a tratar llegue con la menor cantidad de residuos granulados, por el motivo que la presencia de materiales un tanto grandes disminuye el contacto y el intercambio iónico entre la resina y el agua.

## ILUSTRACIÓN 14: Filtro de Arena



Fuente: Juan Carlos Hidalgo., 2015.

**Tabla 50: DIMENSIONES DEL FILTRO DE ARENA**

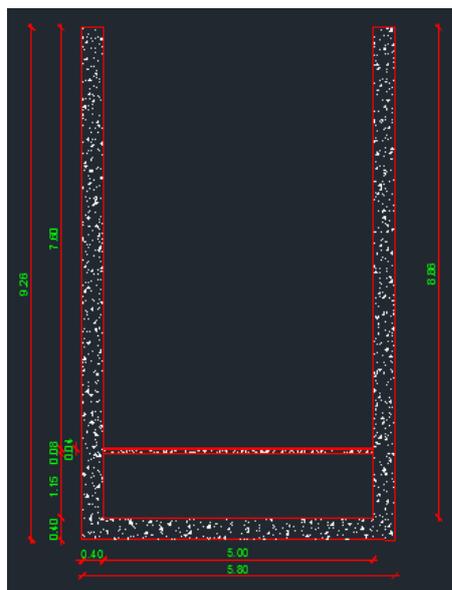
PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Ancho	10.63	m
Longitud	13.60	m
Altura	4.25	m
Altura de la arena	1	m
Altura de la gravilla	0.15	m
Altura de grava	0.20	m
Altura de la zona de desagüe	0.50	m
Espesor de la corona	0.38	m
Espesor de la base	0.90	m

Fuente: Juan Carlos Hidalgo.

## FILTRACIÓN CON RESINA ANIÓNICA

En este proceso logamos obtener la disminución óptima de la dureza del agua entrando así a los parámetros de calidad de la norma INEN 1108, teniendo un agua de calidad química adecuada para el consumo humano.

## ILUSTRACIÓN 15: Filtro de Resina Catiónica



Fuente: Juan Carlos Hidalgo., 2015.

**Tabla 51: DIMENSIONES PARA EL FILTRO DE RESINA CATIONICA**

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES
Altura	9.26	m
Diámetro	2.50	m
Espesor	0.40	m
Altura del desagüe	1.15	m
Espesor de la capa de resina	0.035	m

Fuente: Juan Carlos Hidalgo.

### Cloración

Para cumplir todos los requisitos de una agua de calidad, los parámetros microbiológicos (Coliformes totales, Coliformes fecales), deben ser nulos, experimentalmente demostramos que se requiere una gota de cloro por cada litro de agua tomando como referencia el parámetro de cloro residual en la dosificación para nuestra agua. La cloración se realizara en el tanque de recolección final.

#### 3.3.1. Análisis de costos

**Tabla 52: COSTOS DE MATERIALES TOTALES**

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
RESMA DE PAPEL	2	4,50	9,00
IMPRESIONES Y COPIAS	840	0,05	42,00
EMPASTADOS	3	10,00	30,00
ANILLADOS	3	2,50	7,50
INTERNET	150	0,50	75,00

TRANSPORTE	-	-	55,00
		TOTAL	218,50

Fuente: Juan Carlos Hidalgo.

**Tabla 53: COSTOS DE MATERIALES PARA LOS PROCESOS**

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
MANO DE OBRA PARA DISEÑO DE PROCESOS	22	personas	-	5000
GRAVA (PIEDRA TRITURADA)	76,980	m3	10,80	831,38
GRAVILLA	76,980	m3	11,20	862,18
ARENA LAVADA DE RIO	76,980	m3	19,00	1462,62
RESINA CATIONICA	576,000	Kg	20,00	11520,00
POLICLORURO DE ALUMINIO	1279,250	Kg	12,00	15351,00
HIPOCLORITO DE SODIO	17,300	L	0,44	7,61
CLORURO DE SODIO	55,200	Kg	1,00	55,20
TRANSPORTE	-		-	580,00
			TOTAL	35669,99

Fuente: Juan Carlos Hidalgo.

**Tabla 54: COSTOS DE LOS PROCESOS DE LA PLANTA**

**TANQUE**

**RECOLECTOR**

ITEM	Base m	Altura m	Espesor del Muro ( m )		Volumen m3	# paredes u	Total m3
			Base	Corona			
Muros Frontales	4,36	4,36	1,20	0,30	14,26	4	57,03
Base del Tanque	6,76	6,76	0,60				27,42
Total =							<b>84,45</b>

### CANAL PARSHAL

ITEM	L1	L2	L3	L4	Long Total	Altura	Espesor	Total
	m	m	m	m	m	m	m	m <sup>3</sup>
Pared lateral 1	0,61	0,62	0,31	0,61	2,15	0,46	0,10	0,10
Pared lateral 2	0,61	0,62	0,31	0,61	2,15	0,46	0,10	0,10
Base del Canal	0,10	0,40	0,10		0,60	2,15	0,15	0,19
<b>Total =</b>								<b>0,39</b>

### FILTRO DE ARENA

ITEM	Base m	Altura m	Espesor del Muro ( m )		Volumen m <sup>3</sup>	# paredes u	Total m <sup>3</sup>
			Base	Corona			
Paredes laterales	13,60	4,25	0,45	0,38	23,99	2,00	47,97
Base del filtro	11,80	8,83	0,45		46,89	1,00	46,89
<b>Total =</b>							<b>94,86</b>

### FILTRO DE RESINA CATIÓNICA

ÍTEM	Área m	Altura m	Espesor del Muro ( m )		Volumen m <sup>3</sup>	# paredes u	Total
			Base	Corona			
Base cilíndrica r= 2.90m	26,43		0,40		10,57		10,57
Pared cilíndrica e = 0.40m	6,79	8,86			60,13	1,00	60,13
Boca del filtro r= 2,5	19,64	0,08			1,57	1,00	1,57
<b>Total =</b>							<b>72,27</b>

## FLOCULADOR

ÍTEM	Base m	Altura m	Espesor del Muro ( m )		Volumen m3	# paredes u	Total
			Base	Corona			
Base del floculador	17,90	1,60	0,30		8,59	2,00	17,18
Paredes del floculador	7,50	1,60	0,30		3,60	2,00	7,20
Total =							<b>24,38</b>

## SEDIMENTADOR

ÍTEM	Base m	Altura m	Espesor del Muro ( m )		Volumen m3	# paredes u	Total m3
			Base	Corona			
Paredes Fontal	9,81	1,08	0,30	0,30	3,18	2,00	6,36
pared lateral Izquierda	2,00	2,04	0,30		1,22	1,00	1,22
pared lateral derecha	2,00	1,00	0,30		0,60	1,00	0,60
base del sedimentador	7,10	0,66	0,30		1,41	1,00	1,41
Total =							<b>9,59</b>

Fuente: Arq. LEMA, P, Juan Carlos Hidalgo.

### 3.4. *Análisis y discusión de resultados*

- En el proceso de tratamiento del agua, fue necesario la aplicación de Policloruro de aluminio y una resina catiónica, ya que, individualmente no controlan todos los parámetros fuera de los límites máximos, por lo que en conjunto disminuyeron los parámetros significativamente en un promedio global del 51,95% a rangos aceptables por la NORMA INEN 1108.
- En el proceso experimental de filtración con resina catiónica, al momento de activarla con la solución de NaCl al 8% se controlaba eficazmente la dureza y generaba un aumento significativo de la conductividad, por lo que, se estableció un volumen de 160mL por cada 5g de resina, para su lavado dando como resultado el efecto adecuado de disminución de dureza sin afectar la conductividad.
- El proceso de tratamiento inicial de la planta consiste en la mezcla rápida del coagulante, pasando inmediatamente al floculador, en los dos procesos se establece la determinación de un gradiente, existiendo una diferencia muy clara entre estos valores, en el caso del canal parshall el gradiente debe ser alto entre 500 a 2000 s<sup>-1</sup> por la razón de que al ser considerado como mezclador rápido debe formarse un resalto por tal el gradiente es muy elevado; en el caso del floculador el gradiente es menor y debe oscilar entre los 20 y 100 s<sup>-1</sup>, porque, en el floculador el flujo de agua debe ser más estable sin turbulencias para una formación adecuada de los flóculos.
- El proceso de tratamiento general posee una eficiencia del 51,95%, siendo adecuado para tener un agua apta para el consumo, tomando en cuenta los valores de las tablas 41 y 42 de la dosificación de Salmuera y PCA respectivamente, se pudo haber obtenido un mayor rendimiento del proceso pero se establecieron valores medios, a razón de que, se consideró el factor económico y de estructural

de los equipos para obtener un rendimiento adecuado sin gastar mucho recurso económico.

- El proceso de desinfección se realizó con hipoclorito de sodio por ser el más fácil de conseguir y su costo no es tan significativo para aumentar los costos de diseño de la planta.
- El Hipoclorito de Sodio al 5%, con un volumen de 1 gota (0,05mL) por litro de agua se estableció experimentalmente como adecuada por cumplir con el parámetro de control de CLORO RESIDUAL, puesto que, los materiales utilizados no tenían una aforación de escala menor para realizar más valoraciones a volúmenes menores.
- Los parámetros que se encuentran al inicio fuera de los rangos de la norma INEN 1108, comparados con el agua final como se establece en la Ilustración 9. Demuestra la eficiencia del proceso dejando el agua apta para el consumo. Haciendo del proceso adecuado para tratar el agua subterránea de la Comunidad Langos San Alfonso.

## Conclusiones

- El proceso diseñado para la potabilización del agua del pozo de Langos San Alfonso, tiene una eficiencia total media del 51.95%, controlando los parámetros tales como turbiedad, color, dureza, calcio, magnesio, conductividad, sulfatos, nitritos, fosfatos, hierro, fluoruros y solidos totales; dando como resultado una agua apta para el consumo de acuerdo a la Norma NTE INEN 1108 2006 y su reforma INEN1108 2011.
- La dosificación de las soluciones químicas para el rendimiento establecido del proceso son: solución de NaCl 8%, solución de PCA 3.5%, Cloro 1 gota. Considerando en cada uno de ellos aspectos económicos, eficiencia y la factibilidad de aplicación.
- Las etapas en las que se produce la disminución de los parámetros fuera de norma son la sedimentación, filtración lenta, filtración lenta con arena y la desinfección; siendo las demás etapas puntos de preparación del agua en proceso.
- A partir del diseño de cada etapa de tratamiento del agua proveniente del pozo de LANGOS SAN ALFONSO, se determinó el área necesaria para la ubicación de los equipos, de esta manera el área total de la planta de tratamiento es de 2672.75m<sup>2</sup>.
- A partir de los cálculos experimentales, tomados en el diseño para el proceso de potabilización del agua subterránea, y tomando en cuenta la eficiencia de los procesos unitarios a utilizar se realizó los planos de cada etapa de tratamiento de la planta ubicados en los anexos.

## Recomendaciones

- Un parámetro un tanto complicado de controlar, son los fluoruros por lo que se recomienda vigilar la concentración de este parámetro que no supere los 0,92ppm.
- Los parámetros de dureza, alcalinidad y fluoruros son los parámetros más delicados, por lo que se recomienda llevar un control de
- En la comunidad de Langos se utilizan otras fuentes de agua provenientes de vertientes aledañas, se recomienda que el agua proveniente a parte del pozo pueda ser analizada para examinar la factibilidad de poder ser tratada al igual que el agua del pozo en la planta de tratamiento.
- La adición del coagulante PCA debe ser añadida en el canal parshall antes del resalto por medio de tuberías con un caudal de flujo continuo. Para mejora la mezcla homogénea.
- Algunos equipos su construcción es la adecuada como tanque cilíndrico para que la presión del agua sea uniforme en toda la pared.
- La planta de potabilización posee procesos que pueden ser optimizados, este sería otro tipo de estudio.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**1. AZEVEDO, J., ÁLVAREZ, G.,** Manual de hidráulica., 7ª.ed., Brasilia-Brasil., Edgar Blucher., 1976., Pp 472 – 477.

**2. McCABE, Warren., y otros.,** Operaciones unitarias 7ª.ed., México D.F.-México., McGRAW HILL., 2007., Pp 1049- 1106.

**3. HACH, Company.,** Manual de análisis de agua., 2ª.ED., Colorado-E.E.U.U., Hach Company., 2000., Pp 85, 120, 128, 138, 144.

**4. MURILLO, Jenny y otros.,** Agua Potable. Requisitos NTE 1108., Quito -Ecuador., INEN., 2011., Pp 5-6.

<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1108.2011.pdf>

2014-06-14

**5. GALLEGOS, Ramiro y otros.,** Agua Potable. Requisitos NTE 1108., Quito - Ecuador., INEN., 2006., Pp 3-7

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

2014-06-14

**6. RODRIGUEZ, Francisco.,** Procesos de potabilización del agua e Influencia del Tratamiento de ozonización., 3ª.ED., España- Madrid., Diaz de Santos., 2003., Pp 129-193.

[https://books.google.com.ec/books?id=xAvNbixfFpcC&printsec=frontcover&dq=procesos+de+potabilizacion&hl=es-419&sa=X&ei=VBluVZmaMOjfsAT-\\_YDYBA&ved=0CBsQ6AEwAA#v=onepage&q=procesos%20de%20potabilizacion&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=xAvNbixfFpcC&printsec=frontcover&dq=procesos+de+potabilizacion&hl=es-419&sa=X&ei=VBluVZmaMOjfsAT-_YDYBA&ved=0CBsQ6AEwAA#v=onepage&q=procesos%20de%20potabilizacion&f=false)

2014-06-14

## **5. ACUÍFERO GUARANÍ EL MÁS GRANDE DEL MUNDO.**

<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aquiferoguarani.jpg>

2014-03-26

## **6. CANALETA PARSHALL**

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido\\_en\\_linea\\_Disenio\\_de\\_Plantas\\_Potabilizadoras/leccin\\_20\\_canaleta\\_parshall.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenio_de_Plantas_Potabilizadoras/leccin_20_canaleta_parshall.html)

2014-01-10

## **7. DATOS DE SERVICIOS BÁSICOS EN LA CIUDAD DE GUANO**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n\\_Guano](http://es.wikipedia.org/wiki/Cant%C3%B3n_Guano)

2015-01-10

## **8. EL AGUA DEL SUBSUELO**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_subterr%C3%A1nea](http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_subterr%C3%A1nea)

<http://www.astromia.com/tierraluna/aguasubterraneas.htm>

[http://mimosa.pntic.mec.es/~vgarci14/agua\\_potable.htm](http://mimosa.pntic.mec.es/~vgarci14/agua_potable.htm)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_potable](http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable).

2014-04-01.

## **10. FILTROS LENTOS DE ARENA**

<http://dSPACE.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/751/1/ti878.pdf>

2014-06-18

## **11. FLOCULADORES HIDRÁULICOS**

<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/014991/014991-04.pdf>

2014-06-16

## **12. GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES**

<http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>

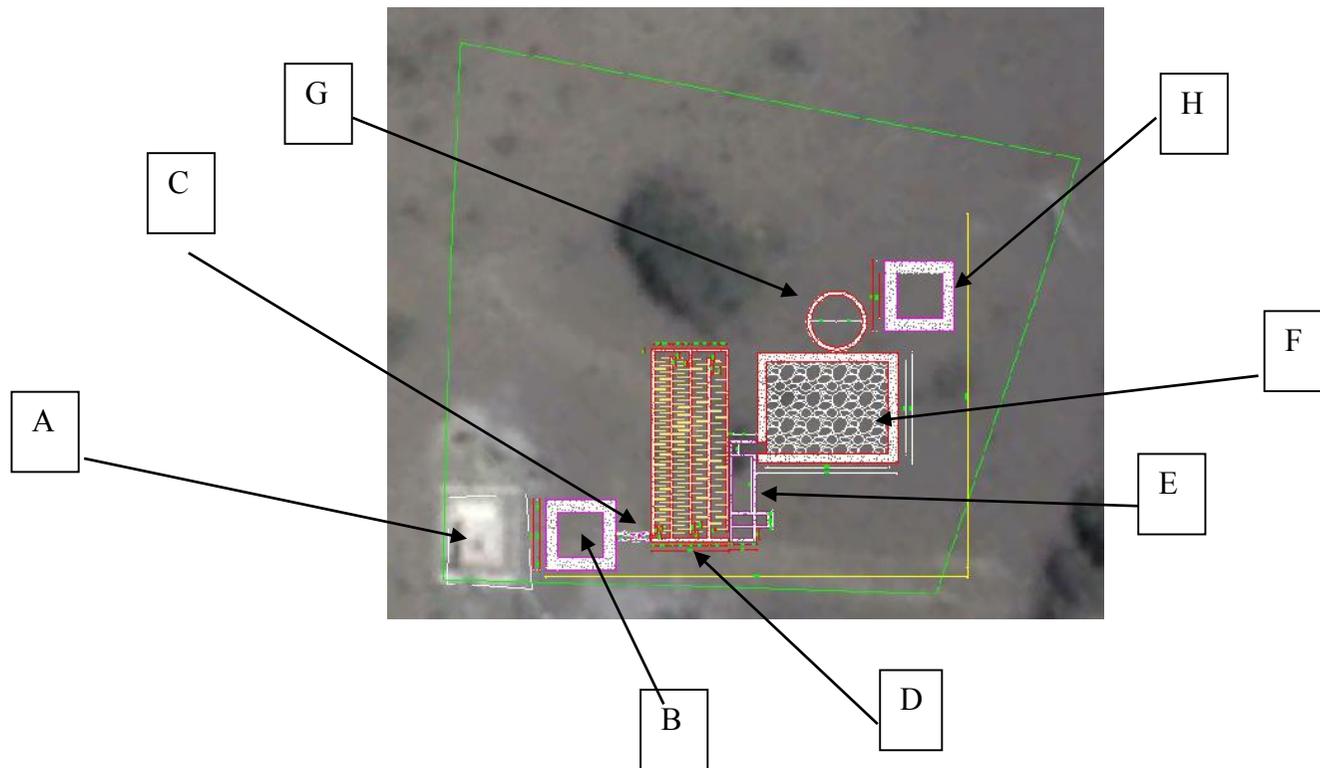
2014-06-16

## **13. POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA**

<http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/potabytrat.pdf>

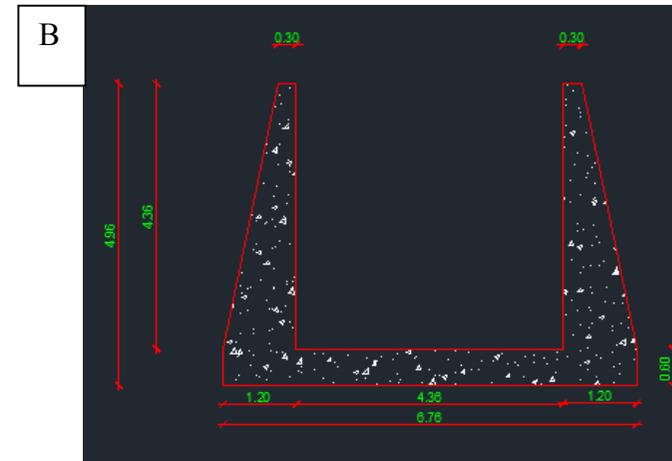
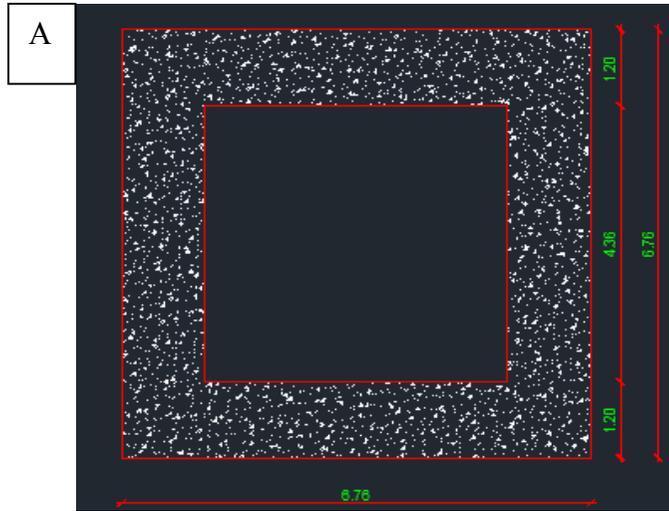
2013- 10- 21.

**ANEXO A: Plano de la Planta de Tratamiento**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"><b>ESPOCH</b></p> <p align="center">JUAN CARLOS HIDALGO HUILCA</p>	PLANTA DE TRATAMIENTO GEO-REFERENCIADA							
<p>A: Pozo de Agua Subterránea, B: Tanque Recolector, C: Canal Parshall, D: Floculador de Flujo Horizontal, E: Sedimentador, F: Filtro Lento de Arena, G: Filtro de Resina Catiónica, H: Tanque de Recolección.</p>	<p>CERTIFICADO APROBADO POR APROBAR POR CALIFICAR POR VERIFICAR POR ELIMINAR</p> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		ESCALA:	LÁMINA	FECHA			A <sub>4</sub>	1	2015/03/20
			ESCALA:	LÁMINA	FECHA					
		A <sub>4</sub>	1	2015/03/20						

## ANEXO B: Plano del Tanque Recolector de Entrada y Salida



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<b>ESPOCH</b>	<b>TANQUE RECOLECTOR</b>								
A: Vista de Planta,  B: Vista de corte,	CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/>	JUAN CARLOS HIDALGO HUILCA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 33%;">ESCALA:</th> <th style="width: 33%;">LÁMINA</th> <th style="width: 33%;">FECHA</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A<sub>4</sub></td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">2015/03/20</td> </tr> </table>			ESCALA:	LÁMINA	FECHA	A <sub>4</sub>	2	2015/03/20
ESCALA:	LÁMINA	FECHA									
A <sub>4</sub>	2	2015/03/20									

### ANEXO C: Plano del Canal Parshall



#### NOTAS

A: Vista de Planta.

B: Vista de Corte

#### CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CERTIFICADO   
 APROBADO   
 POR APROBAR   
 POR CALIFICAR   
 POR VERIFICAR   
 POR ELIMINAR

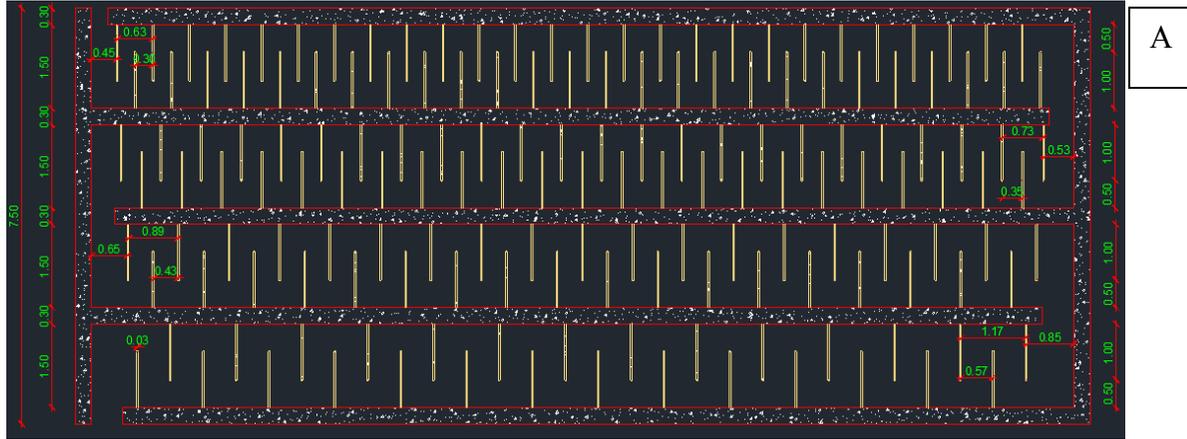
## ESPOCH

JUAN CARLOS HIDALGO HUILCA

### CANAL PARSHALL

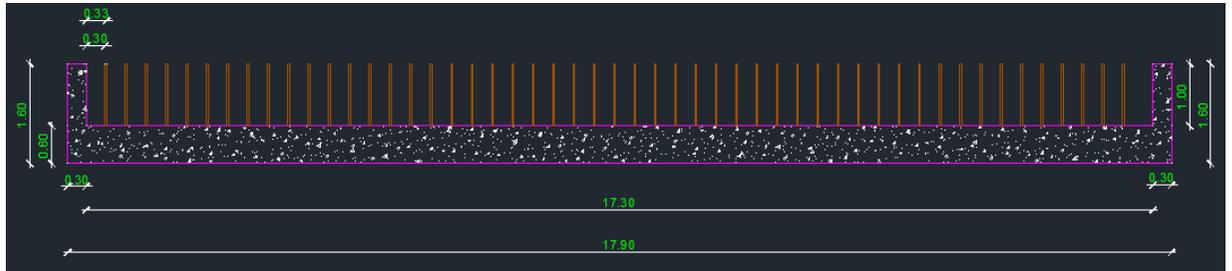
ESCALA:	LÁMINA	FECHA
A <sub>4</sub>	3	2015/03/20

### ANEXO D: Plano del Floculador



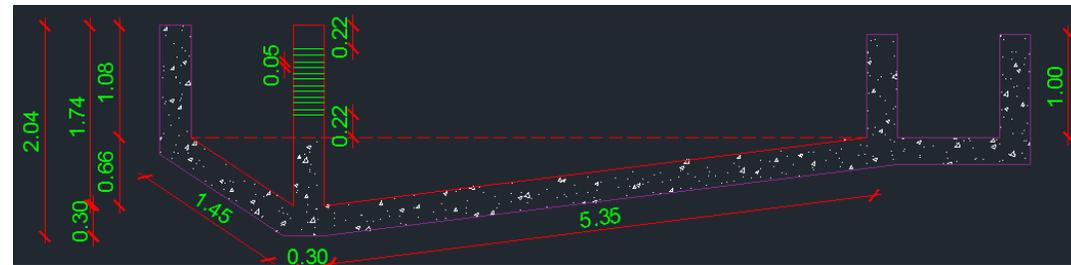
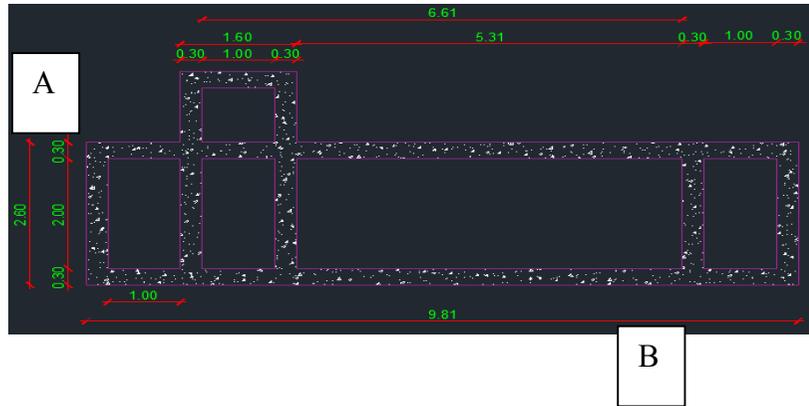
A

B



NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH		FLOCULADOR DE FLUJO HORIZONTAL		
A: Vista de Planta.	B: Vista de Corte	CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/>	<b>JUAN CARLOS HIDALGO HUILCA</b>		ESCALA:	LÁMINA	FECHA
					A <sub>4</sub>	4	2015/03/20

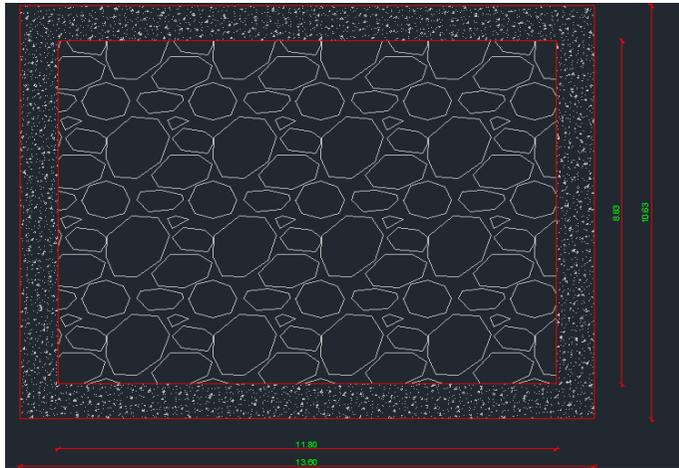
### ANEXO E: Plano de Sedimentador



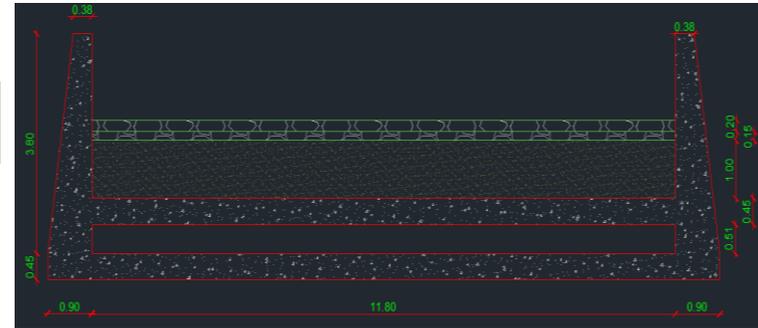
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<b>ESPOCH</b>	<b>SEDIMENTADOR</b>								
A: Vista de Planta. B: Vista de Corte	CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/>	JUAN CARLOS HIDALGO HUILCA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 33%;">ESCALA:</th> <th style="width: 33%;">LÁMINA</th> <th style="width: 33%;">FECHA</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A<sub>4</sub></td> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">2015/03/20</td> </tr> </table>			ESCALA:	LÁMINA	FECHA	A <sub>4</sub>	1	2015/03/20
ESCALA:	LÁMINA	FECHA									
A <sub>4</sub>	1	2015/03/20									

## ANEXO F: Plano del Filtro de Arena

A

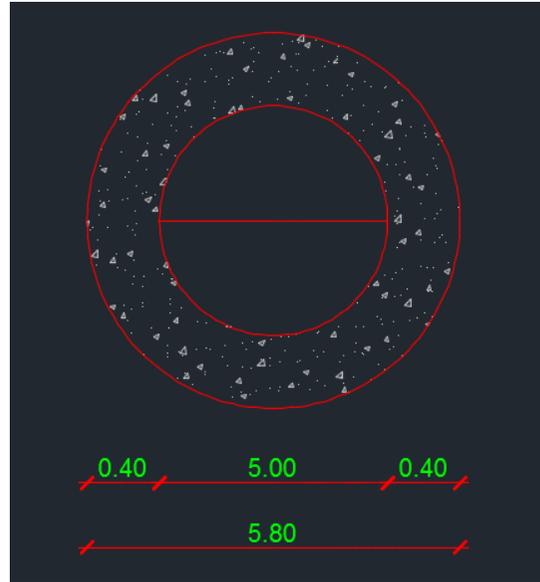


B

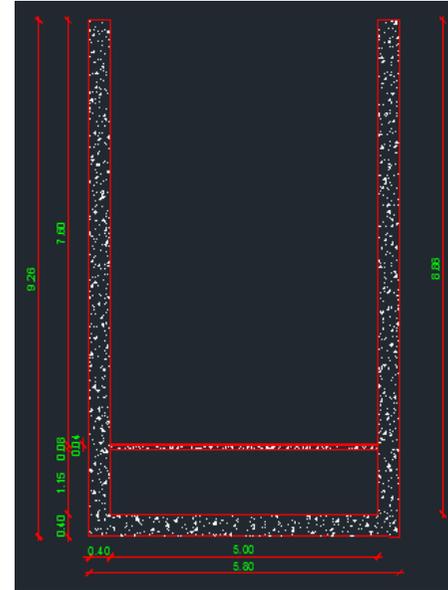


NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	PLANO DEL FILTRO LENTO DE ARENA		
<p><b>A: Vista de Planta</b></p> <p><b>B: Vista de Corte</b></p>	<p>CERTIFICADO <input type="checkbox"/></p> <p>APROBADO <input type="checkbox"/></p> <p>POR APROBAR <input type="checkbox"/></p> <p>POR CALIFICAR <input type="checkbox"/></p> <p>POR VERIFICAR <input type="checkbox"/></p> <p>POR ELIMINAR <input type="checkbox"/></p>	<p>JUAN CARLOS HIDALGO HUILCA</p>	<b>ESCALA:</b>	<b>LÁMINA</b>	<b>FECHA</b>
			A <sub>4</sub>	1	2015/03/20

### ANEXO G: Plano del Filtro de Resina Catiónica



A



B

NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH			PLANO DEL FILTRO DE RESINA CATIÓNICA		
A: Vista de Planta	B: Vista de Corte	CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input type="checkbox"/> POR VERIFICAR <input type="checkbox"/> POR ELIMINAR <input type="checkbox"/>	JUAN CARLOS HIDALGO HUILCA			ESCALA:	LÁMINA	FECHA
						A <sub>4</sub>	1	2015/03/20

## ANEXO H: Hojas Técnicas de Resina Catiónica y el PCA



**PUROLITE C-100 E**  
RESINA DE INTERCAMBIO IÓNICO FUERTEMENTE ÁCIDA  
(PARA USAR EN LA DESCALCIFICACIÓN DEL AGUA)

### HOJA TÉCNICA

#### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

**PUROLITE C-100 E** es una resina catiónica de poliestireno sulfonado 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 empleo de resinas en el tratamiento de alimentos para el consumo humano.

**C 100 E** está inscrita en el **Registro General Sanitario de Alimentos del Ministerio de Sanidad y Consumo**, con el N° 31.01108/B-11046, para el tratamiento de aguas potables.

A

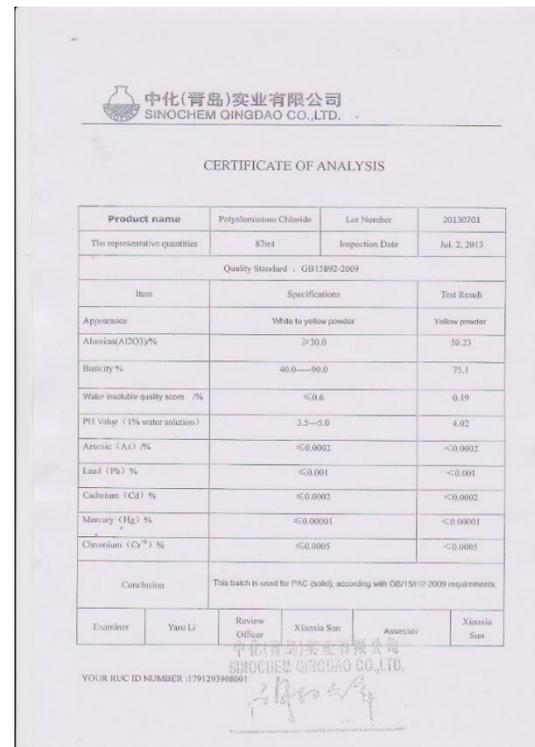
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS				
Estructura del polímero	poliestireno reticulado con DVB			
Forma física y aspecto	perlas esféricas transparentes			
Grupo funcional	Poliestireno sulfonado			
Forma de suministro	Na <sup>+</sup>			
Densidad aparente (aprox.)	800-840 g/l (50-52.5 lb/ft <sup>3</sup> )			
Tamaño de malla, U.S. estándar Mesh (húmeda)	16-50			
Rango tamaño de partícula	1.2 mm < 5% - 0.3 mm < 1%			
Retención humedad, forma Na <sup>+</sup>	46-50%			
Hinchamiento, Ca <sup>2+</sup> → Na <sup>+</sup> (max.)	+9%			
Densidad forma Na <sup>+</sup> (húmeda)	1.27			
Capacidad total, forma Na <sup>+</sup> , húmeda (min.)	1.9 eq/l			
Temperatura de trabajo, forma Na <sup>+</sup> (max.)	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)				
OPERACION	CAUDAL	DISOLUCION	MINUTOS	CANTIDAD
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

1 BV = 1 Volúmen/Volúmen resina

B



### NOTAS

- A: Hoja técnica de la resina catiónica
- B: Hoja técnica del PCA.

### CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

- CERTIFICADO
- APROBADO
- POR APROBAR
- POR CALIFICAR
- POR VERIFICAR
- POR ELIMINAR

## ESPOCH

JUAN CARLOS HIDALGO HUILCA

## HOJAS TÉCNICAS DE RESINA Y CANAL PARSHALL

ESCALA:	LÁMINA	FECHA
A <sub>4</sub>	3	2015/03/20