

UNIVERSIDAD DE CUENCA



**FACULTAD DE CIENCIA QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“OPTIMIZACION DEL PROCESO DE FLOCULACION Y COAGULACION DE
LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA JUNTA DE AGUA POTABLE DE
BAYAS.”**

Autores:

Leonardo Daniel Calle Idrovo.
César Alfredo Zambrano Torres

Director:

Ing. Fausto Fernando García Ávila

TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO.

Cuenca – Ecuador

2015

RESUMEN

El presente trabajo desarrollado en la Planta Potabilizadora de la Junta de Agua Potable de Bayas está encaminado a optimizar los procesos de entrada (coagulación y floculación) de dicha planta, mediante sus respectivas evaluaciones y con la implementación de un dispositivo dosificador de coagulante también de compuertas que ayuden a la regulación del caudal, también se ha elaborado una curva de dosificación de coagulante, cuyos datos para obtener mencionada curva son obtenidos mediante la realización de pruebas de jarras llevadas a cabo en los laboratorios de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Azogues (EMAPAL) .

La finalidad de nuestro trabajo es determinar la dosis óptima de coagulante Sulfato de Aluminio para lograr la máxima remoción de impurezas en el agua provenientes de las captaciones aledañas a la Planta de Potabilización de Agua de la parroquia Bayas basándonos en los ensayos a realizarse en el equipo de prueba de jarras.

Para lo cual se empezará evaluando las características de diseño y construcción del proceso de Coagulación y Floculación, para luego analizar las condiciones de operación y mantenimiento actuales de dicho proceso y determinando si dichas condiciones afectan a mencionado proceso de potabilización. Lo implementado será de ayuda para los operarios encargados de controlar cada uno de los procesos y para mejora la potabilización del agua

Palabras claves: Bayas, Coagulación, Floculación, Agua, Curva de dosificación, Azogues, Potabilización, Prueba de jarras.

ABSTRACT

This work developed in the Water Treatment Plant of the Board of Drinking Water of Bayas is aimed at optimizing the processes of entry (coagulation and flocculation) of the plant , through their respective evaluations and with the implementation of a coagulant dosing device also of gates that will help in the regulation of the flow, has also been developed a curve of coagulant dosage, whose data to obtain curve mentioned are obtained through the realization of jar tests carried out in the laboratories of the Municipal Company of water supply and sewerage in Azogues (EMAPAL).

The purpose of our work is to determine the optimal dose of coagulant sulphate of aluminum to achieve the maximum removal of impurities in the water from the catchments adjacent to the plant to Water Purification in Bayas based on the tests to be performed in the jar tests equipment

For which will begin evaluating the characteristics of design and construction of the process of coagulation and flocculation, then analyze the conditions of operation and maintenance of the current process and determining whether these conditions affect mentioned process of purification. What we just implemented it will be of help for the operators responsible for controlling each of the processes and to improve the drinking water.

Keywords: Bayas, Coagulation, Flocculation, Water, Curve of dosage, Azogues, Jar tests equipment.



Contenido

Resumen	2
Abstract	3
CAPÍTULO 1.....	17
1. Generalidades	17
1.1. Justificación.....	17
1.2. Alcance.....	18
1.3. Objetivos.....	19
1.3.1. Objetivo General.....	19
1.3.2. Objetivo Específicos.....	19
1.4. Reseña Histórica.....	19
1.5. Captación y conducción.....	20
1.6. Proyecto de vinculación de la junta de agua potable de bayas con la universidad de cuenca.....	21
CAPÍTULO 2.....	22
2. Descripción del proceso de potabilización en la planta potabilizadora de la junta de agua potable de bayas.....	22
2.1. Ingreso de agua cruda.....	22
2.2. Coagulación.....	23
2.3. Floculación.....	24
2.4. Sedimentación.....	24
2.5. Filtración Rápida.....	25
2.6. Filtración Lenta.....	26
2.7. Desinfección.....	27
2.8. Almacenamiento de Agua Tratada.....	27
2.9. Laboratorio de Control.....	28
CAPÍTULO 3.....	29



3. Marco Teórico	29
3.1. Conceptos básicos sobre la química del agua.....	29
3.1.1. Estructura Química.....	29
3.1.2. Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos del agua.....	30
3.1.2.1. Parámetros Físicos.....	30
3.1.2.1.1. Color.....	30
3.1.2.1.2. Turbiedad.....	30
3.1.2.1.3. Temperatura.....	31
3.1.2.1.4. Conductividad.....	31
3.1.2.1.5. Densidad.....	32
3.1.2.1.6. Viscosidad.....	32
3.1.2.1.7. Tensión Superficial.....	32
3.1.2.2. Parámetros Químicos.....	32
3.1.2.2.1. Alcalinidad.....	32
3.1.2.2.2. Dureza.....	33
3.1.2.2.3. pH.....	33
3.1.2.2.4. Sulfatos.....	34
3.1.2.2.5. Nitritos y Nitratos.....	34
3.1.2.2.6. Aluminio.....	35
3.1.2.2.7. Cloruros.....	35
3.1.2.2.8. Hierro.....	35
3.1.2.2.9. Arsénico.....	35
3.1.2.2.10. Cromo.....	36
3.1.2.3. Parámetros Biológicos.....	36
3.1.2.3.1. Coliformes Totales.....	36

3.1.2.3.2. Coliformes Termotolerantes (fecales).....	36
3.1.2.3.3. Escherichia Coli.....	37
3.2. Teoría de la Coagulación.....	37
3.2.1. Coloides.....	38
3.2.1.1. Principales propiedades de los coloides.....	38
3.2.1.1.1. Propiedades Cinéticas.....	38
3.2.1.1.2. Propiedades de Superficie.....	39
3.2.1.2. Estabilidad de las suspensiones de partículas.....	39
3.2.1.3. Carga eléctrica de los coloides.....	40
3.2.1.4. La doble capa eléctrica.....	40
3.2.2. Mecanismos de Coagulación.....	41
3.2.2.1. Compresión de capa difusa.....	42
3.2.2.2. Adsorción y Neutralización.....	42
3.2.2.3. Adsorción y formación de un puente interparticular.....	43
3.2.2.4. Coagulación por barrido.....	44
3.2.3. Factores que influyen al proceso de Coagulación.....	45
3.2.3.1. Concentración de coagulante.....	45
3.2.3.2. Temperatura.....	45
3.2.3.3. Dosis óptima.....	46
3.2.3.4. Concentración óptima.....	47
3.2.4. Coagulantes.....	48

3.2.4.1. Sulfato de Aluminio.....	48
3.3. Mezcla Rápida.....	49
3.3.1. Parámetros operacionales.....	49
3.3.2. Factores que modifican el proceso.....	49
3.3.2.1. Intensidad y tiempo de mezcla.....	49
3.3.3. Mezcladores.....	50
3.3.3.1. Unidades hidráulicas.....	51
3.1.2.3.1. Resalto Hidráulico.....	51
3.3.4. Mezcla rápida en vertederos rectangulares.....	52
3.4. Teoría de la Floculación.....	53
3.4.1. Factores que influyen en la floculación.....	53
3.4.1.1. Naturaleza del agua.....	53
3.4.1.2. Tiempo de floculación.....	54
3.4.1.3. Gradiente de velocidad.....	55
3.4.1.4. Variación del caudal.....	55
3.4.2. Tipos de floculadores.....	56
3.4.2.1. Floculadores hidráulicos.....	56
CAPÍTULO 4.....	58
4. Metodología de la evaluación de los procesos de Floculación y Coagulación	58
4.1. Evaluación del proceso de Coagulación.....	58
4.1.1. Dosificación del coagulante.....	58
4.1.1.1. Características del coagulante.....	58
4.4.1.1.1. Dosis óptima y concentración de la solución.....	58

4.1.1.2. Características del ayudante de coagulación.....	59
4.1.1.3. Características de las unidades de dosificación.....	60
4.1.2. Evaluación de la Mezcla Rápida.....	60
4.1.2.1. Geometría de la unidad.....	60
4.1.2.2. Determinación del tiempo de mezcla.....	60
4.1.2.3. Determinación de la intensidad de la mezcla.....	62
4.1.2.3.1. Determinación de la pérdida de carga H.....	62
4.1.2.4. Evaluación del caudal de operación para el vertedero rectangular.....	64
4.2. Evaluación del proceso de Floculación.....	64
4.2.1. Geometría de la unidad.....	65
4.2.2. Tiempo de formación del flóculo.....	65
4.2.3. Caudal de operación en los floculadores.....	66
4.2.4. Tiempo de retención.....	67
4.2.5. Intensidad de floculación o gradiente de velocidad.....	69
4.2.6. Características hidráulicas.....	69
4.2.6.1. Modelo simplificado de Wolf-Resnick.....	69
4.2.6.2. Análisis por el método de la curva de tendencia.....	72
4.2.6.3. Índice de Morrill.....	74
CAPÍTULO 5.....	75

5. Resultados de la evaluación de los parámetros de operación de los procesos de Coagulación y Floculación.....	75
5.1. Evaluación del proceso de Coagulación.....	75
5.1.1. Dosificación del coagulante.....	75
5.1.1.1. Características del coagulante.....	75
5.1.1.2. Dosis óptima y concentración de coagulante.....	75
5.1.1.3. Características y dosis óptima del ayudante de coagulación.....	75
5.1.2. Características de las unidades de dosificación.....	76
5.1.2.1. Dosificadores.....	76
5.1.2.2. Difusores de coagulante.....	76
5.2. Evaluación de la Mezcla Rápida.....	77
5.2.1. Geometría de la unidad.....	77
5.2.2. Determinación del tiempo de mezcla.....	78
5.2.3. Determinación de la intensidad de la mezcla.....	78
5.2.4. Evaluación del caudal de operación para el vertedero rectangular.....	80
5.3. Evaluación del proceso de Floculación.....	82
5.3.1. Geometría de la unidad.....	82
5.3.1.1. Evaluación del número de compartimientos en los floculadores.....	83
5.3.2. Tiempo de formación del flóculo.....	85
5.3.3. Caudal de operación en los floculadores.....	87
5.3.4. Tiempo de retención de la unidad de floculación.....	88

5.3.5. Intensidad de floculación o gradiente de velocidad.....	90
5.3.6. Características hidráulicas.....	92
CAPÍTULO 6.....	101
6. Análisis de resultados, diseño y aplicación de mejoras para la optimización.....	101
6.1. Análisis de la evaluación de la dosificación del coagulante.....	101
6.1.1. Características del ayudante de Coagulación.....	101
6.1.2. Dosis óptima de coagulante.....	101
6.1.2.1. Obtención de la curva de dosificación.....	101
6.1.3. Análisis de las características de las unidades de dosificación.....	103
6.1.3.1. Diseño, construcción y calibración del equipo dosificador.....	103
6.1.3.1.1. Cálculo de las dimensiones.....	103
6.1.3.1.2. Orificios de entrada y salida de coagulante.....	103
6.1.3.1.3. Accesorios.....	103
6.1.3.1.4. Material para la fabricación.....	104
6.1.3.1.5. Volumen de dosificador.....	104
6.1.3.1.6. Sistema de dosificación.....	105
6.1.3.1.6.1. Accesorios.....	105
6.1.3.1.6.2. Funcionamiento.....	120
6.1.3.1.7. Planos del dosificador.....	107
6.1.3.1.8. Determinación de los caudales de operación del dosificador.....	107

6.2. Análisis de la evaluación de la mezcla rápida.....	109
6.2.1. Análisis de la geometría de la unidad.....	109
6.2.2. Análisis de la determinación del tiempo de mezcla.....	109
6.2.3. Análisis de la determinación de la intensidad de mezcla.....	109
6.2.4. Análisis de la evaluación del caudal de operación para un vertedero rectangular.....	109
6.3. Análisis de la evaluación del proceso de floculación.....	110
6.3.1. Análisis de la geometría de las unidades.....	110
6.3.2. Análisis del caudal de operación de los floculadores.....	110
6.3.2.1. Diseño y construcción de las compuertas reguladoras de caudal.....	111
6.3.2.1.1. Cálculo de las dimensiones de las compuertas.....	112
6.3.2.1.2. Material de fabricación.....	112
6.3.2.1.3. Planos de las compuertas.....	112
6.3.2.1.4. Validación de compuertas.....	113
6.3.3. Análisis del tiempo de formación del flóculo.....	118
6.3.4. Análisis del tiempo de retención de la unidad de floculación.....	119
6.3.5. Análisis de la intensidad de floculación o gradientes de velocidad en la unidad.....	120



6.3.6. Análisis de las características hidráulicas de la unidad.....	120
6.3.6.1. Condiciones hidráulicas del floculador 1.....	120
6.3.6.2. Condiciones hidráulicas del floculador 2.....	121
CAPÍTULO 7.....	124
7. Conclusiones y Recomendaciones.....	124
7.1. Conclusiones.....	124
7.2. Recomendaciones.....	128
BIBLIOGRAFÍA.....	129
ANEXOS.....	130



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

Leonardo Daniel Calle Idrovo, autor de la tesis "Optimización del proceso de floculación y coagulación de la planta potabilizadora de la junta de agua potable de Bayas.", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Químico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, 8 de junio del 2015



Leonardo Daniel Calle Idrovo

C.I: 0301755997



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

Leonardo Daniel Calle Idrovo, autor de la tesis "Optimización del proceso de floculación y coagulación de la planta potabilizadora de la junta de agua potable de Bayas.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 8 de junio del 2015



Leonardo Daniel Calle Idrovo

C.I: 0301755997



Universidad de Cuenca
Clausula de derechos de autor

César Alfredo Zambrano Torres, autor de la tesis "Optimización del proceso de floculación y coagulación de la planta potabilizadora de la junta de agua potable de Bayas.", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Químico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, 8 de junio del 2015



César Alfredo Zambrano Torres

C.I: 0803232321



Universidad de Cuenca
Clausula de propiedad intelectual

César Alfredo Zambrano Torres, autor de la tesis "Optimización del proceso de floculación y coagulación de la planta potabilizadora de la junta de agua potable de Bayas.", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 8 de junio del 2015



César Alfredo Zambrano Torres

C.I: 0803232321

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES.

1.1. JUSTIFICACIÓN.

En la actualidad, el agua es uno de los recursos no renovables más importantes para el uso y beneficio de las especies existentes en el planeta Tierra, para que el agua sea apta para el consumo humano debe seguir un proceso adecuado el mismo que debe ser controlado de inicio a fin con la debida inspección de los parámetros que cumplan con la normativa de nuestro país.

La Universidad de Cuenca y la Junta de Agua Potable Regional “Bayas” han elaborado y firmado un convenio de carácter general para construir un proceso de vinculación entre la Facultad de Ciencias Químicas y la Junta de Agua Potable (Anexo 2), el mismo que tiene el fin de desarrollar una experiencia de colaboración recíproca mediante la cual la Universidad de Cuenca se inserta en los procesos de apoyo científico para impulsar iniciativas orientadas a la vinculación con la colectividad. Dicho convenio de vinculación tendrá un plazo de cinco años contados a partir de la fecha de suscripción dándose la opción de ser renovado o darse por terminado de común acuerdo.

Hoy en día la Planta de Potabilización de Agua de la parroquia Bayas, los procesos de coagulación y floculación se los realiza con soluciones de sulfato de aluminio y solución polímero respectivamente las mismas que logran modificar las características del agua para remover las impurezas con las que llega a la planta.

Por un trabajo previo en la planta, se ha determinado necesidades principales aparte de las que se esperan encontrar, propuestas por nosotros como objetivos específicos de nuestro proyecto de tesis debido a la importancia que tiene su satisfacción en el proceso de coagulación y floculación, las cuales son, la determinación de las dosis óptima de coagulante, en este caso Sulfato de

Aluminio, para distintos valores de turbiedades expresadas en una curva de dosificación, y el diseño de un equipo dosificador igualmente para el coagulante.

La finalidad de nuestro trabajo es determinar la dosis óptima de coagulante Sulfato de Aluminio para lograr la máxima remoción de impurezas en el agua provenientes de las captaciones aledañas a la Planta de Potabilización de Agua de la parroquia Bayas basándonos en los ensayos a realizarse en el equipo de prueba de jarras.

1.2. ALCANCE.

El proyecto de Tesis se realizará en Planta de Potabilización de Agua de la Junta Parroquial de Bayas, sector Mahuarcay, la misma que está ubicada en la parroquia "Aurelio Bayas Martínez", actualmente integrada al sector urbano del Cantón Azogues se encuentra situada al noroeste de la ciudad de Azogues colindando con la misma y es aquí en este sector en donde se establece la Junta de Agua Potable de Bayas que provee de líquido vital a 1240 familia lo que aproximadamente serían 5000 personas.

Para lo cual se empezará evaluando las características de diseño y construcción del proceso de Coagulación y Floculación, para luego analizar las condiciones de operación y mantenimiento actuales de dicho proceso y determinando si dichas condiciones afectan a mencionado proceso de potabilización.

Las determinaciones de las dosis óptimas serán realizadas en ensayos con un equipo de prueba de jarras, proporcionado por EMAPAL (Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental del Cantón Azogues).

Además, se realizará el diseño de un equipo dosificador para el uso de coagulante, basándonos en bibliografía pertinente y siguiendo recomendaciones publicadas por personas expertas en el diseño de estos equipos.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL.

Optimizar los parámetros de operación del proceso de coagulación y floculación en la Planta de Potabilización de Agua de la Junta Parroquial de Bayas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar una curva de dosificación de coagulante, a partir de ensayos en el equipo de prueba de jarras de diferentes muestras de agua con distintos valores de los parámetros de Turbiedad y Color.
- Determinar la dosis óptima de polímero catiónico ayudante de coagulación, empleada para el proceso de floculación.
- Diseñar e implementar un equipo dosificador de coagulante (Sulfato de Aluminio) para evitar gasto de químico y mejorar el desarrollo del proceso de coagulación.
- Diseñar e implementar compuertas reguladoras de caudal en los canales de entrada de los floculadores para la distribución de caudales equitativamente por cada uno de los módulos de floculación.

1.4. RESEÑA HISTÓRICA.

La Junta de Agua Potable Regional Bayas, fue constituida en el año de 1979, la misma que no constaba con una Planta de Potabilización, sino se disponía de agua en pozos tradicionales llenados mediante canales de conducción, que eran excavaciones en la tierra (acequias) y que se mantienen hasta la actualidad; en algunos tramos utilizando tubos de cemento, canales de piedra y concreto.

En el mes de marzo de 1998, se construye la Planta de Potabilización en el sector Mahuarca, la misma que está ubicada en la misma parroquia “Aurelio Bayas”, actualmente integrada al sector urbano del Cantón Azogues encontrándose situada al noroeste de la ciudad.

En el inicio la planta, únicamente se trabajaba con el proceso de filtración lenta, pero desde el año 2011 se realizó un rediseño, con la construcción de unidades de floculación, coagulación y una batería de filtros rápidos, desde ese entonces la planta trabaja con los procesos generales de la potabilización convencional.

La Junta Regional Bayas, hasta el día de hoy consta con 1260 usuarios generales, con lo que la capacidad de la planta de potabilización de 20 l/s, han demostrado durante estos años, satisfacer las necesidades de Agua potable de dichos usuarios.

1.5. CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN.

La captación de agua cruda se realiza en 3 distintos lugares, ubicadas a diferentes distancias, cada una con una estructura hidráulica similar a una represa para almacenar agua, las fuentes provienen de tomas y cascadas de los páramos de la zona oriental de la ciudad de Azogues. Estas captaciones conducen el agua por gravedad, a través de canal abierto en un tramo inicial desde la bocatoma, y otro tramo se conduce a través de tubería hasta la planta de tratamiento.

FUENTE	DISTANCIA A LA PLANTA	CONDUCCION	CAPACIDAD (litros)
Mahuarcay	400 m	Tubería de PVC	10
Chagrarcazhca	5 km	Tubería de PVC	10
Santa Ana	7 km	Canal Abierto	10
Santa Ana	7 km	Tubería de PVC	3

Tabla 1-1 Captaciones



Figura. 1-1. Captación Chagrarcazhca.



Figura 1-2. Captación Mahuarcay



Figura. 1-3. Captación Santa Ana



1.6. PROYECTO DE VINCULACIÓN DE LA JUNTA DE AGUA POTABLE DE BAYAS CON LA UNIVERSIDAD DE CUENCA.

La Junta de Agua Potable Bayas, empeñada en cumplir con los requerimientos de la Nueva Ley de Aguas en cuanto a calidad y cantidad de agua, firmó un convenio para 5 años con la facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca, para el asesoramiento en el manejo técnico de químicos utilizados en la potabilización del agua de dicha planta, así como en el control de los procesos de potabilización. Los estudiantes de la mencionada institución realizan prácticas de monitoreo en cantidad y calidad de agua con la supervisión del Ing. Fernando García docente de la Universidad. Para cumplir con este objetivo se implementó un pequeño laboratorio, con la compra de algunos accesorios y reactivos de control de calidad de agua

CAPÍTULO 2.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA JUNTA DE AGUA POTABLE DE BAYAS.

La planta de potabilización es de tipo convencional, la misma que fue diseñada para operar con un caudal de 20 l/s, con dos estructuras o módulos de operación similares (izquierdo y derecho) para un caudal de 10 l/s cada una.

Existe un canal de ingreso y mezclador que son comunes para los dos módulos, además cada módulo cuenta con un floculador hidráulico de flujo vertical, un sedimentador, un pre filtro de grava, y al final de la clarificación existe una batería de filtros rápidos de tasa declinante y lavado mutuo que recoge el agua de los dos módulos y finalmente se tiene el sistema de desinfección con hipoclorito de calcio. A continuación se hará una descripción breve de los procesos y sus unidades que componen el proceso de tratamiento de potabilización de agua.

2.1. INGRESO DE AGUA CRUDA.

La planta consta de un cajón de recepción de agua de flujo ascendente con una capacidad de 20 l/s, el agua ingresa por la parte inferior del cajón mediante cuatro tuberías provenientes de las captaciones, en la cual cada caudal puede ser regulado manualmente por medio de válvulas dependiendo del flujo de agua cruda deseado para tratar. Además consta de un sistema para desviar una parte de caudal de cualquier captación, si alguna de estas tiene valores de turbiedad altos o en ocasiones arrastra consigo tierra u otras partículas, principalmente en los canales abiertos, que dificultan su tratamiento principalmente en la etapa de coagulación.

La medición de caudal se realiza en el vertedero rectangular, este dato se obtiene en función de la altura que alcanza el agua, y se mide mediante una regla que el operador coloca en el vertedero cada vez que realiza la medición de caudal.

Con esta medida de la altura se acude a una tabla perteneciente a la planta de que fue obtenida en función a la ecuación de Francis que es para este caso de vertederos rectangulares.

$$Q = 1,71(L)H^{1.5} \quad \text{Ec. 2-1}$$

[15]

2.2. COAGULACIÓN.

Este proceso ayuda a la remoción de la mayor parte de impurezas que trae consigo el agua cruda desde las fuentes, el agua luego de pasar por el vertedero rectangular cae libremente formándose el resalto hidráulico en la base (fig. 2-1).

El coagulante utilizado es una solución de sulfato de aluminio al 2% el mismo que es preparado por los operarios de la planta en dos tanques de 500 litros de capacidad (fig.2-2) cada uno y con forma geométrica diferente; y en los cuales se han dispuesto de tuberías de salida que llevan la solución coagulante hacia una flauta improvisada (fig. 2-3) que está ubicada al inicio del vertedero, y deja caer el químico hacia la masa de agua siendo éste el punto de dosificación del mismo.



Figura 2-1 Resalto Hidráulico



Figura 2-2. Mezcla Rápida



Figura 2-3. Flauta

2.3. FLOCULACIÓN.

Luego de la etapa de coagulación, continúa con la formación y el crecimiento de los flocúlos por medio de la aglomeración de los mismos para su aumento de tamaño. Para esto se le somete a una agitación lenta en las unidades de floculación (fig. 2-4), que en esta planta de tratamiento se trabaja en dos floculadores de flujo vertical, para lo cual después de la mezcla rápida se distribuye el agua para cada módulo.

En este tipo de floculadores el flujo sube y baja a través de las pantallas colocadas de manera vertical, estas pantallas son de cemento-asbesto de 0.7m *1.8m. En la planta se trabaja con 40 pantallas en cada floculador, pero también consta de 14 pantallas de concreto en cada módulo para disminuir la presión de agua, cada vez que se hace el llenado del floculador luego del mantenimiento y evitar el daño de las otras pantallas.

Para la remoción de lodos que se acumulan en el fondo del floculador, se la realiza por medio de una tubería ubicada al fondo de la unidad, el mismo que dispone de orificios que recolectan el lodo (fig. 2-5), esto evita la obstrucción para el paso del agua.



Figura 2-4 Floculador



Figura 2-5 Orificios recolectores de lodo.

2.4. SEDIMENTACIÓN.

Luego de la floculación se conduce el agua al proceso de sedimentación, esto se realiza en los decantadores laminares de flujo ascendente de alta tasa (fig. 2-6), igualmente ubicados uno en cada módulo. Este tipo de decantadores

consta de 85 láminas ubicadas paralelamente del mismo material de las placas de los floculadores, cemento-asbesto de 8 mm inclinado 60° , la salida de agua decantada se la realiza por tubos perforados ubicados en la parte superior del sedimentador.



Figura 2-6 Decantadores de Flujo Ascendente

2.5. FILTRACIÓN RÁPIDA.

Para someter al agua a un proceso de filtración rápida, se la hace pasar primero por unos prefiltros de grava de flujo horizontal. La planta consta de dos prefiltros, uno en cada módulo, cada prefiltro consta de dos etapas, una con grava gruesa y la siguiente con grava fina. La función de estos prefiltros recae en disminuir la carga de material en suspensión antes de ingresar a los filtros rápidos.

Para la filtración rápida, la planta dispone de una batería con un número de 4 filtros rápidos de tasa declinante y lavado mutuo (fig. 2-7). El flujo de agua de cada módulo de sedimentación se une en esta batería de filtros, destinada para trabajar con una capacidad de 20 l/s.



Figura 2-7 Batería de 4 filtros

El lecho o material filtrante está constituido de grava de distinta granulometría en la parte inferior y arena en la parte superior.

La batería consta de un canal de aislamiento (fig. 2-8) para cada filtro por el cual se transporta el agua filtrada, está ubicada al final de los filtros, posterior a la batería de filtros existe un canal de interconexión que conecta todas estas salidas para trasladar a la etapa de desinfección.



Figura 2-8 Canal de Aislamiento

2.6. FILTRACIÓN LENTA.

La filtración lenta consiste en un conjunto de procesos físicos y biológicos que elimina los microorganismos patógenos del agua. Básicamente, el filtro lento consta de un cajón de cemento y de grandes dimensiones que contiene un lecho filtrante de arena (fig.2-9) y sobre él un sobrenadante de agua que se va a desinfectar, el filtro lento se utiliza principalmente para eliminar la turbiedad del agua (fig.2-10).

La entrada de agua al filtro lento se puede realizar de dos maneras: la primera alimentación de agua puede provenir directamente desde la entrada de líquido a la planta cuando los niveles de turbiedad son inferiores a 20 NTU y la segunda alimentación puede proceder de los procesos previos (coagulación, floculación, sedimentación y prefiltro), ésta segunda forma de alimentación se lo realiza en el horario nocturno debido a que no hay operador que controle el proceso.



Figura 2-9 Lecho Filtrante (Arena)



Figura 2-10 Filtro Lento

2.7. DESINFECCIÓN.

De los procesos de desinfección posibles, la planta de tratamiento utiliza la cloración, por ser un método muy conocido y más simple de dosificar. La cloración se la realiza mediante sales, específicamente, hipoclorito de calcio en un porcentaje de cloro disponible de 70%. La eficiencia de la cloración es aceptable e idéntica a la aplicación de cloro gas directamente que es el método de cloración más eficiente.

La solución de cloro que se utiliza tiene una concentración de 0.7%, la cual se prepara en tanques de 500 l; la dosificación se realiza por goteo de manera directa. La planta consta de un dosificador provisional de plástico que ayuda a disminuir los problemas de obstrucción en las mangueras utilizadas para la aplicación.

El control de la cloración se la realiza en el tanque de almacenamiento de agua tratada, monitoreando los valores de cloro residual cada dos horas de trabajo. El volumen de cloro a aplicar está en función del caudal de agua tratada cuya concentración de cloro residual oscilan entre 0,5 mg/l a 1mg/l, que sería la concentración de cloro residual óptima.

2.8. ALMACENAMIENTO DE AGUA TRATADA.

El almacenamiento de agua tratada se la realiza en un tanque de forma cilíndrica con una capacidad de 200 m³. Desde aquí se traslada el agua por tubería hacia dos tanques de distribución que están ubicados en el centro de la parroquia, para su posterior repartición.

2.9. LABORATORIO DE CONTROL.

La planta potabilizadora de Bayas posee un laboratorio de control de calidad en el que se realizan pruebas tanto físicas como pruebas químicas, en el que se dispone de un colorímetro HACH 890, así como los instrumentos y reactivos necesarios para ejecutar cada una de las pruebas mencionadas anteriormente.

Las pruebas físicas se las realiza cada dos horas de trabajo todos los días por los operarios, con el fin de controlar potenciales cambios que puedan ocurrir en el proceso de potabilización de agua, y las pruebas fisicoquímicas se llevan a cabo cada semana por estudiantes pasantes en la planta.



Figura 2-11 Laboratorio de Calidad

CAPÍTULO 3.

MARCO TEÓRICO.

3.1. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE LA QUÍMICA DEL AGUA.

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

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

[16]

3.1.1. Estructura Química.

El agua es una molécula sencilla formada por átomos pequeños, dos de hidrógeno y uno de oxígeno, unidos por enlaces covalentes muy fuertes que hacen que la molécula sea muy estable. Tiene una distribución irregular de la densidad electrónica, pues el oxígeno, uno de los elementos más electronegativos

La atracción electrostática entre la carga parcial positiva cercana a los átomos de hidrógeno de una molécula de agua y la carga parcial negativa cercana al oxígeno de otra, permite la unión de moléculas de agua vecinas mediante un enlace químico muy especial y de importancia para la vida y que explica el amplio abanico de sus propiedades físicas y químicas: el puente de hidrógeno (fig. 3-1).

[9]

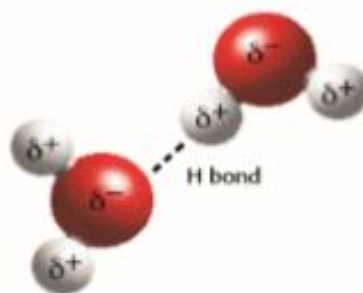


Figura 3-1 Puente de hidrógeno entre moléculas de agua
FUENTE: VAQUERO y Toxqui, *Agua para la salud pasado presente y futuro*

3.1.2. Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos del Agua.

3.1.2.1. Parámetros Físicos.

3.1.2.1.1. Color: Incolora, pero cuando se concentra en grandes masas tiene un cierto color azul.

El color está constituido por sustancias químicas, la mayoría de las veces provenientes de la degradación de la materia orgánica, tales como hojas y plantas acuáticas con las cuales entra en contacto.

Naturaleza del Color: Según Christman y Ghassemi (1961) la aparición de color en el agua puede deberse a:

- a) la extracción producida por el agua de sustancias provenientes de maderas
- b) la solución de productos de descomposición de las maderas
- c) la solución de materia orgánica del suelo
- d) una combinación de estos procesos.

Cualquiera que sea su origen, el conjunto de compuestos responsables de color, recibe el nombre de sustancias húmicas. Si bien la estructura molecular de dichas sustancias no es bien conocida, se sabe que básicamente contienen carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno en porcentajes variables. [12]

Se denomina color aparente a aquel que presenta el agua cruda o natural y color verdadero al que queda luego de que el agua ha sido filtrada.

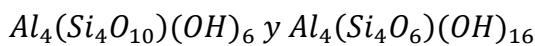
Existen muchos métodos de remoción del color. Los principales son la coagulación por compuestos químicos como el alumbre. Debido a que el color del agua se origina, en muchos casos, por la presencia de compuestos de naturaleza orgánica, se recomienda que la desinfección se realice luego de que este haya sido removido. [1]

3.1.2.1.2. Turbiedad: La turbiedad, que no es más que la capacidad de un líquido de diseminar un haz luminoso, puede deberse a partículas de arcilla provenientes de la erosión del suelo, a algas o a crecimientos bacterianos. La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

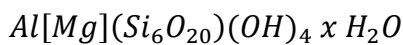
Naturaleza química de la turbiedad:

La turbiedad está principalmente formada por arcillas en dispersión. El término arcilla comprende una gran variedad de compuestos, pero en general se refiere a la tierra fina (0.002 mm de diámetro de grano o menos), a veces coloreada, que adquiere plasticidad al mezclarse con limitadas cantidades de agua. Químicamente son silicatos de aluminio con fórmulas bastante complejas. Houser las clasifica así:

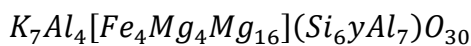
- Caolinita.



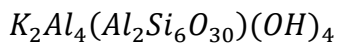
- Montmorillonita (Bentonita).



- Illita.



- Muscovita



En la práctica, la remoción de la turbiedad no es un proceso difícil de llevar a cabo en una planta de clarificación de agua; sin embargo, es uno de los que más influye en los costos de producción, porque, por lo general, requiere usar coagulantes, acondicionadores de pH, ayudantes de coagulación, etcétera. [12]

3.1.2.1.3. Temperatura: Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. [14]

Los límites aceptables varían entre 5 y 15⁰ C, pero la temperatura óptima debe considerarse la comprendida en el intervalo de 10 a 12⁰ C.

3.1.2.1.4. Conductividad: La conductividad o Conductancia es la habilidad de una sustancia para conducir corriente eléctrica. La unidad más utilizada para



expresar la conductividad es el micromhos/cm, y en el sistema internacional de unidades (SI) el siemens o microsiemens.

El agua químicamente pura tiene una muy baja conductividad eléctrica, el cual es un valor que tiene significancia puramente teórica, ya que el agua pura es muy difícil de obtener. La presencia de especies iónicas con carga eléctrica hace que el agua conduzca electricidad. Como la concentración iónica incrementa la conductividad, las mediciones de conductividad constituyen una indicación de la concentración iónica. [6]

3.1.2.1.5. Densidad: Es la masa contenida en la unidad de volumen. La densidad del agua, y en los líquidos en general, es prácticamente independiente de la presión (incompresibilidad), pero cambia al combinarla con otros compuestos o sustancias.

3.1.2.1.6. Viscosidad: Es una medida de la resistencia del fluido a la rapidez de la deformación o desplazamiento bajo la acción de esfuerzos de corte, como resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas. La viscosidad de los fluidos, a diferencia de la de sólidos, es relativamente baja.

Sin embargo la viscosidad disminuye regularmente con la temperatura. La viscosidad cambia más rápidamente que la densidad y por eso afecta notablemente todos los procesos de tratamiento del agua.

3.1.2.1.7. Tensión Superficial: La tensión superficial se debe a que entre las moléculas de un líquido se presentan pequeñas fuerzas de cohesión (atracción) en las tres dimensiones (fuerzas de Van der Waals) que facilitan al líquido resistir pequeños esfuerzos de tensión.

[8]

3.1.2.2. Parámetros Químicos.

3.1.2.2.1. Alcalinidad: Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. La alcalinidad está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica. Sin embargo, aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, bisulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad.

Por lo general, está presente en las aguas naturales como un equilibrio de carbonatos y bicarbonatos con el ácido carbónico, con tendencia a que prevalezcan los iones de bicarbonato. De ahí que un agua pueda tener baja alcalinidad y un pH relativamente alto o viceversa.

La alcalinidad es importante en el tratamiento del agua porque reacciona con coagulantes hidrolizables (como sales de hierro y aluminio) durante el proceso de coagulación. Además, este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener el agua y, cuando alcanza niveles altos, puede tener efectos sobre el sabor.

3.1.2.2.2. Dureza: Corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalente de carbonato de calcio, de los cuales los más comunes son los de calcio y los de magnesio. Aún no se ha definido si la dureza tiene efectos adversos sobre la salud. Pero se la asocia con el consumo de más jabón y detergente.

Un agua dura puede formar depósitos en las tuberías y hasta obstruirlas completamente. Esta característica física es nociva, particularmente en aguas de alimentación de calderas, en las cuales la alta temperatura favorece la formación de sedimentos.

La dureza está relacionada con el pH y la alcalinidad; depende de ambos. En términos generales, puede considerarse que un agua es blanda cuando tiene dureza menor de 100 mg/l; medianamente dura, cuando tiene de 100 a 200 mg/l; y dura, cuando tiene de 200 a 300 mg/l (en todos los casos, como CaCO₃). [1]

3.1.2.2.3. pH: Es un parámetro básico que indica el grado de acidez o basicidad del agua. El pH indica la concentración del ion hidronio en una solución.

$$pH = \log \frac{1}{[H_3O^+]} \quad \text{Ec. 3-1}$$

donde [H₃O⁺] es igual a la concentración del ion Hidronio en moles/l. [7]

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución.

Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección.

Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0. Por lo general, este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua. [1]

3.1.2.2.4. Sulfatos

Los sulfatos son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad.

Pueden provenir de la oxidación de los sulfuros existentes en el agua y, en función del contenido de calcio, podrían impartirle un carácter ácido.

Un alto contenido de sulfatos puede proporcionar sabor al agua y podría tener un efecto laxante, sobre todo cuando se encuentra presente el magnesio. Este efecto es más significativo en niños y consumidores no habituados al agua de estas condiciones. [1]

3.1.2.2.5. Nitritos y nitratos

En general, los nitratos (sales del ácido nítrico, HNO_3) son muy solubles en agua debido a la polaridad del ion. En los sistemas acuáticos y terrestres, los materiales nitrogenados tienden a transformarse en nitratos.

Los nitritos (sales de ácido nitroso, HNO_2) son solubles en agua. Se transforman naturalmente a partir de los nitratos, ya sea por oxidación bacteriana incompleta del nitrógeno en los sistemas acuáticos y terrestres o por reducción bacteriana.

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, incluyendo el amoníaco, y la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en agua.

La presencia de nitratos y nitritos no es extraña, especialmente en aguas almacenadas en cisternas en comunidades rurales.

3.1.2.2.6. Aluminio

Es un componente natural del agua, debido principalmente a que forma parte de la estructura de las arcillas. Puede estar presente en sus formas solubles o en sistemas coloidales, responsables de la turbiedad del agua. Las concentraciones más frecuentes en las aguas superficiales oscilan entre 0,1 y 10 ppm.

Cuando el aluminio se encuentra en el agua cruda, se recomienda usar como coagulantes sales de hierro o polímeros sintéticos.

Los coagulantes aluminicos dejan un remanente de metal que, en algunos casos, puede llegar a niveles no deseados. [1]

3.1.2.2.7. Cloruros

Las aguas superficiales normalmente no contienen cloruros en concentraciones tan altas como para afectar el sabor, excepto en aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas.

A partir de ciertas concentraciones, los cloruros pueden ejercer una acción disolvente sobre ciertas sales presentes en el agua y también sobre algunos componentes del cemento, al impartirles una acción corrosiva y erosionante, en especial a pH bajo.

3.1.2.2.8. Hierro

El hierro es un constituyente normal del organismo humano (forma parte de la hemoglobina). Por lo general, sus sales no son tóxicas en las cantidades comúnmente encontradas en las aguas naturales.

La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca.

También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua. [1]

3.1.2.2.9. Arsénico

Puede estar presente en el agua en forma natural. Es un elemento muy tóxico para el hombre.

Se encuentra en forma trivalente o pentavalente, tanto en compuestos inorgánicos como orgánicos.

Las concentraciones de As en aguas naturales usualmente son menores de 10 µg/l.

El arsénico inorgánico es el responsable de la mayoría de los casos de intoxicación en seres humanos. Se sospecha que el arsénico tiene efectos cancerígenos. El valor guía de la OMS para el agua de bebida es 0,01 mg/l. [14]

3.1.2.2.10. Cromo

De las especies normalmente presentes en las aguas superficiales, el Cr (III) es esencial para los seres humanos, pues promueve la acción de la insulina.

En cambio, el Cr (VI) es considerado tóxico por sus efectos fisiológicos adversos. No se conoce de daños a la salud ocasionados por concentraciones menores de 0,05 mg/L de Cr (VI) en el agua.

Se ha demostrado que el cromo (VI) es carcinógeno para los seres humanos, mientras que el cromo (0) y los derivados de cromo (III) aún no pueden clasificarse respecto a su carcinogenicidad. [14]

3.1.2.3. Parámetros Biológicos de la calidad del agua

3.1.2.3.1. Coliformes totales: Los coliformes totales se reproducen en el ambiente, proporcionan información sobre el proceso de tratamiento y acerca de la calidad sanitaria del agua que ingresa al sistema y de la que circula en el sistema de distribución. No constituyen un indicador de contaminación fecal.

3.1.2.3.2. Coliformes termotolerantes (fecales): Se sabe que la contaminación fecal del agua está relacionada con la transmisión de agentes patógenos por el agua. Por este motivo, se requieren métodos sensibles que permitan medir el grado de contaminación fecal.

Se denomina coliformes termotolerantes a ciertos miembros del grupo de bacterias coliformes totales que están estrechamente relacionados con la contaminación fecal. Estos coliformes generalmente no se multiplican en los ambientes acuáticos.

Los coliformes termotolerantes crecen a una temperatura de incubación de 44,5 °C. Esta temperatura inhibe el crecimiento de los coliformes no tolerantes. Se miden por pruebas sencillas, de bajo costo y ampliamente usadas en los programas de vigilancia de la calidad del agua.

3.1.2.3.3. Escherichia coli: Es el principal indicador bacteriano en el agua. Diversos estudios han demostrado que la E. coli está presente en las heces de los seres humanos y los animales de sangre caliente entre 10^8 y 10^9 por gramo de heces. No se multiplican en forma apreciable en el ambiente. [1]

3.2. TEORÍA DE LA COAGULACIÓN.

La coagulación se puede definir como un proceso unitario que se usa para causar agregación de material suspendido no sedimentable y partículas coloidales del agua; la coagulación es el proceso que se usa más ampliamente para remover las sustancias que ocasionan turbiedad en el agua, las cuales son a menudo inorgánicas. [10]

La coagulación comienza en el mismo instante en que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma. [12]

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

- El primero, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.
- El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua.

Este proceso es muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos, de acuerdo con las demás características del agua: pH,

temperatura, cantidad de partículas, etcétera. Se lleva a cabo en una unidad de tratamiento denominada mezcla rápida. [1]

En fin, la coagulación tiene como función principal desestabilizar, agregar y unir las sustancias coloidales presentes en el agua, además remueve turbiedad, color, bacterias, algas y otros organismos planctónicos, fosfatos y sustancias productoras de olores y sabores. [4]

3.2.1 Coloides.

Son, en general, sólidos finamente divididos que no sedimentan por la simple acción de la gravedad, pero que pueden removerse del agua mediante coagulación, filtración o acción biológica. Con base en su tamaño, los coloides han sido definidos como partículas cuyo diámetro varía entre 1 y 100 nm. [4]

En el tratamiento del agua, es común referirse a los sistemas coloidales como hidrófobos o suspensores cuando repelen el agua, e hidrófilos o emulsores cuando presentan afinidad con ella.

Obviamente, los coloides hidrófobos no repelen completamente al agua, pues una película de ella es absorbida por los mismos. Las arcillas y algunos óxidos metálicos son coloides hidrófobos muy importantes en el tratamiento del agua.

Los coloides hidrofílicos comprenden soluciones verdaderas, ya sea de moléculas grandes o de agregados de moléculas pequeñas (llamados micelas), cuyas dimensiones están dentro de los límites coloidales. [1]

3.2.1.1. Principales propiedades de los coloides.

3.2.1.1.1. Propiedades Cinéticas:

Movimiento Browniano: Las partículas coloidales, dentro de la fase líquida, presentan un movimiento constante e irregular, que se ha denominado movimiento browniano.

La teoría cinética explica este fenómeno como resultado del bombardeo desigual y casual de las partículas en suspensión por las moléculas del líquido.

Al elevarse la temperatura del líquido, las moléculas adquieren mayor energía cinética y aumenta el movimiento browniano.

Difusión: Debido al movimiento browniano, las partículas coloidales tienden a dispersarse por todas partes en el sistema hídrico. A este fenómeno se le llama difusión.

3.2.1.1.2. Propiedad de Superficie

Adsorción: Como se puede comprobar en el tabla 3-1, las partículas coloidales se caracterizan por tener una gran superficie específica, definida como la relación entre el área superficial y la masa.

Nótese el efecto de la disminución del tamaño de las esferas sobre el área total superficial y el tiempo de sedimentación requerido.

La gran superficie específica da a los coloides una gran capacidad de adsorción y, por tanto, no resulta práctico sedimentar las partículas coloidales sin tratamiento químico previo.

Diámetro de la partícula en mm	Escala de tamaños	Área total superficial	Tiempo requerido para sedimentar
10	Grava	3,15cm ²	0,3 s
1	Arena gruesa	31,5cm ²	3 s
0,1	Arena Fina	315cm ²	38 s
0,01	Sedimento	3150cm ²	33 min
0,001	Bacteria	3,15m ²	55 horas
0,0001	Partícula coloidal	31,5m ²	230 días
0,00001	Partícula coloidal	0,283ha	6,3 años
0,000001	Partícula coloidal	2,83ha	63 años

Tabla 3-1 Efecto al disminuir el tamaño de las esferas.

[1]

3.2.1.2. Estabilidad de las suspensiones de partículas.

En el tratamiento de agua, el proceso de coagulación se utiliza para aumentar la cinética de agregación de partículas y formación de flóculos. El objetivo es transformar una suspensión estable en otra inestable. [10]

Entre las fuerzas de estabilización o repulsión podemos mencionar las siguientes:

- a) La carga de las partículas.
- b) La hidratación, que generalmente es importante para los coloides hidrofílicos, aunque tienen menor importancia en este caso.

• **Los factores de atracción o desestabilización son los siguientes:**

- a) La gravedad. Es insignificante en la desestabilización de las partículas coloidales.
- b) El movimiento browniano. Permite que las partículas entren en contacto, lo que constituye un requerimiento para la desestabilización.
- c) La fuerza de Van der Waals. Una fuerza débil de origen eléctrico, postulada por primera vez por el químico holandés Johannes Diderick van der Waals. Es un factor muy importante, pues constituye la principal fuerza atractiva entre las partículas coloidales. Estas fuerzas siempre atractivas, que decrecen rápidamente con la distancia, se deben a la interacción de dipolos permanentes o inducidos en las partículas. [1]

3.2.1.3. Carga eléctrica de los coloides

La mayoría de las partículas en el agua, minerales y orgánicas tiene superficies eléctricamente cargadas y el signo de la carga es usualmente negativo. En la siguiente exposición, se consideran el proceso para producir esta carga negativa.

3.2.1.4. La doble capa eléctrica.

En una suspensión coloidal, no puede haber equilibrio neto en la carga eléctrica total; las cargas primarias sobre partículas deben estar equilibradas en el sistema. La fig 3-2 muestra, esquemáticamente, una partícula cargada negativamente con la nube de iones de equilibrio alrededor de la partícula. Como la partícula está cargada negativamente, el exceso de iones de carga opuesta se acumula en la región interfacial, junto con la carga primariza, formando una doble capa eléctrica. [10]

Los iones negativos se aproximan a la capa compacta y atraen iones positivos; así se forma la capa difusa, que engloba a la primera. En realidad, la capa difusa

resulta de la atracción de iones positivos, de la repulsión electrostática de iones negativos (con la misma carga de la partícula) y la difusión térmica.

Se tiene, por tanto, una concentración elevada de iones positivos próximos a la superficie del coloide, también denominada capa de Stern, a partir de la cual se forma la capa difusa, en la cual la concentración de iones es menor.

Se han propuesto varios modelos para explicar la doble capa eléctrica. Quizás el modelo que explica mejor este fenómeno es el de doble capa difusa de Stern-Gouy (fig. 3-2).

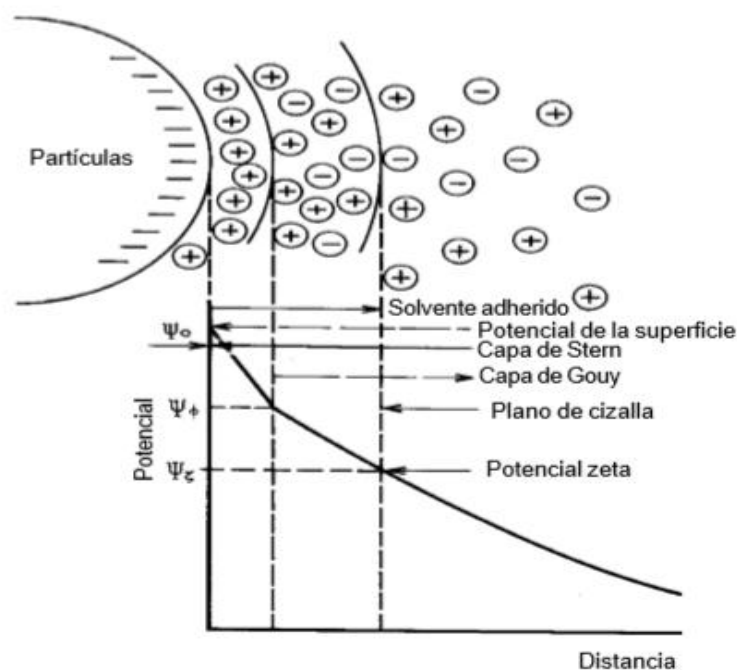


Figura 3-2. Modelo de doble capa difusa de Stern-Gouy
FUENTE: de VARGAS Ligia, Tratamiento de agua para consumo humano, Teoría

[1]

3.2.2. Mecanismos de Coagulación.

Actualmente se considera la coagulación como el resultado de la acción de cuatro mecanismos:

1. Compresión de capa difusa;
2. adsorción y neutralización;
3. adsorción y formación del puente.
4. por barrido. [1]

3.2.2.1. Compresión de capa difusa

El método clásico de desestabilización de coloides es la compresión de doble capa. Los iones que son signo opuesto a la carga neta de la superficie de las partículas entran en la capa difusa que rodea las partículas. Si se añaden los suficientes de estos contra-iones, la capa difusa se comprime, reduciendo la energía requerida para mover dos partículas de parecida carga superficial en estrecho contacto.

La desestabilización por compresión de doble capa no es un método práctico para el tratamiento de agua, porque las concentraciones de sal requeridas para la desestabilización pueden aproximarse a las del agua del mar. [10]

3.2.2.2. Adsorción y Neutralización

La desestabilización por neutralización de la carga superficial implica reducir la carga neta superficial de las partículas en suspensión. A medida que la carga neta superficial disminuye, el espesor de la capa difusa que rodea las partículas se reduce y la energía requerida para mover las partículas en contacto se minimiza. [10]

La desestabilización de una dispersión coloidal consiste en las interacciones entre coagulante-coloide, coagulante–solvente y coloide–solvente.

El efecto de adsorción y neutralización de la carga se encuentra estrechamente ligado al de compresión de la doble capa.

Cuando se agrega *sulfato de aluminio* o sales de fierro al agua en condiciones especiales de dosis de coagulante, se forma una serie de especies solubles hidrolizadas. En el caso del sulfato de aluminio, las especies hidrolizadas que se forman son Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ y $Al(OH)_4$, las cuales son tomadas a menudo para representar todo el sistema.

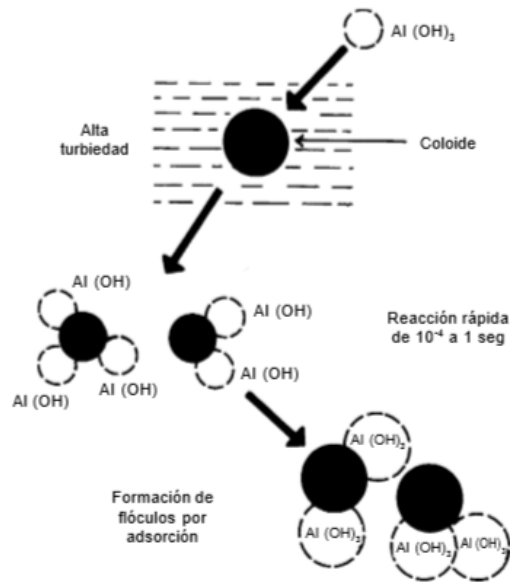


Figura 3-3. Coagulación por adsorción.

FUENTE: de VARGAS Ligia, Tratamiento de agua para consumo humano, Teoría

Estas especies hidrolizadas se adhieren o forman complejos superficiales con los grupos Silanol (= SiOH) y el coloide, y lo desestabilizan, lo que permite la formación de flóculos (fig. 3-3). [1]

3.2.2.3. Adsorción y formación de un puente interparticular.

Si la adsorción de contraiones es debida a fuerzas químicas se establecerán enlaces de hidrógeno, covalentes, iónicos, etc., entre las moléculas adsorbidas y las superficies de los coloides, en cuyo caso estas quedarán adheridas a puntos fijos de adsorción y su número podrá aumentar hasta cambiar la carga del coloide (de negativo a positivo) con lo que se producirá su estabilización. Por otra parte, entre más puntos de adsorción disponibles haya (más superficie que cubrir) más moléculas capaces de ser adsorbidas (coagulantes) hay que agregar y serán más fácilmente adsorbidos los polímeros grandes que los pequeños. [12]

En la figura 3-4 se describe gráficamente el proceso por puente interparticular

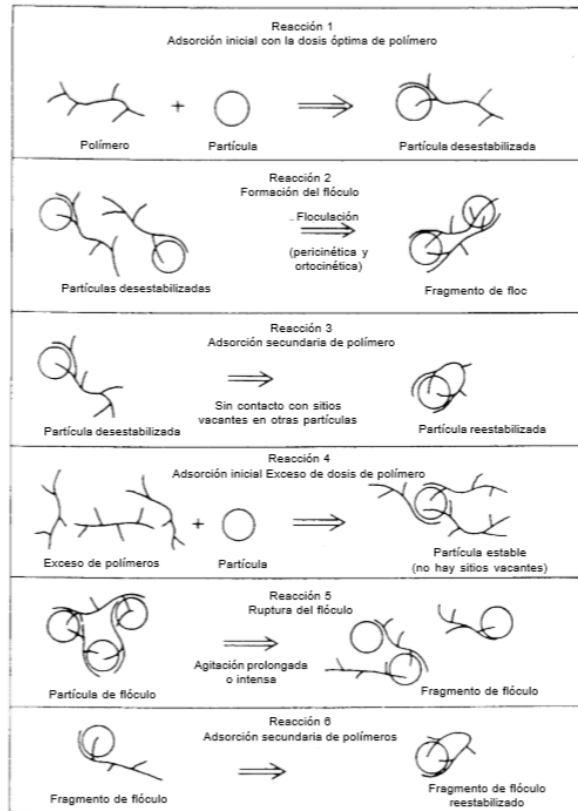


Figura 3-4. Representación esquemática para el modelo de puentes en la desestabilización de coloides mediante polímero

FUENTE: de VARGAS Ligia, Tratamiento de agua para consumo humano, Teoría

3.2.2.4. Coagulación por barrido

La coagulación por incorporación se produce cuando se agrega una concentración de coagulantes tan alta, que se excede el límite de solubilidad de ese compuesto en el agua. En ese momento se precipitan los hidróxidos que se forman por reacción de la alcalinidad y el agua misma con los coagulantes, con lo que se induce la producción de una masa esponjosa (floc de barrido) que atrapa en su caída a los coloides y partículas suspendidas las cuales se ven forzadas a decantar, incorporadas dentro del precipitado que desciende. Este tipo de remoción de turbiedad, no es una verdadera coagulación, pero es la que más frecuentemente se produce, debido a que en la práctica, las dosis que se usan están por encima del límite de solubilidad de los hidróxidos de aluminio o hierro en el agua, a los pH y temperaturas normales de trabajo. La coagulación por incorporación no excluye, sin embargo, la posibilidad de que simultáneamente se produzca también, en parte o en una etapa inicial, coagulación por puente químico, e incluso coagulación por adsorción

neutralización. La coagulación corriente, pues, se realiza por medio de diferentes mecanismos que se sobreponen y complementan.

Para poder conocer qué tipo de coagulación se produce, suelen utilizarse los llamados diagramas de coagulación. Dicho mecanismo está esquematizado en la figura. [12]

En la figura 3-5 se representa gráficamente este proceso.

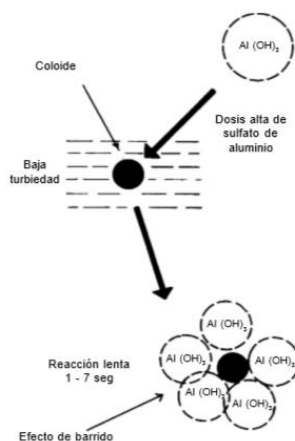


Figura 3-5. Coagulación por barrido

FUENTE: de VARGAS Ligia, Tratamiento de agua para consumo humano, Teoría

3.2.3. Factores que influyen al proceso de Coagulación.

3.2.3.1. Concentración de coagulante

Existe mucha especulación respecto a la influencia de la concentración de solución de coagulante en la eficiencia del proceso de tratamiento; incluso se ha sugerido limitar la concentración mínima a valores del orden de 0,5% en las estaciones de tratamiento. Pero tal sugerencia contradice el procedimiento usual en la realización de ensayos de laboratorio, que generalmente usan la solución de coagulante con una concentración de 0,1 y 10%, dependiendo del volumen de los frascos de los equipamientos de floculación (1 ó 2 litros) y de las dosis previstas para los ensayos.

3.2.3.2. Temperatura.

La temperatura del agua puede tener un efecto significativo sobre la coagulación y floculación. En general, la tasa de formación de flóculos y eficiencia de la remoción de partículas primarias, decrece con la disminución de la temperatura.

El efecto negativo de la temperatura tiende a ser mayor con las suspensiones diluidas. La temperatura afecta a la solubilidad del precipitado del hidróxido metálico y a la tasa de formación de productos metálicos de la hidrólisis. En general, el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y el $\text{Al}(\text{OH})_3$ decrecen en solubilidad con la disminución de temperatura y pH de mínima solubilidad aumenta. A temperaturas menores, las especies polinucleadas, tienden a persistir durante un largo período de tiempo. Al aumentar la temperatura se incrementa la tasa de colisiones entre las partículas, mejorando la remoción de color u turbiedad de un agua tratada [1]

3.2.3.3. Dosis óptima

Las curvas de coagulación pueden dividirse en cuatro zonas representadas gráficamente en la figura 3-6:

La zona 1 corresponde a dosis bajas, donde se ha agregado coagulante en cantidad insuficiente para realizar la desestabilización.

La zona 2 corresponde a dosis un poco más altas, donde se realiza la desestabilización y el floculo precipita.

La zona 3, donde dosis aún más altas pueden reestabilizar las dispersiones con ciertos valores de pH.

La zona 4, que tiene gran cantidad de hidróxido de aluminio (o hierro), actúa de tal forma que captura las partículas coloidales (coagulación de barrido).

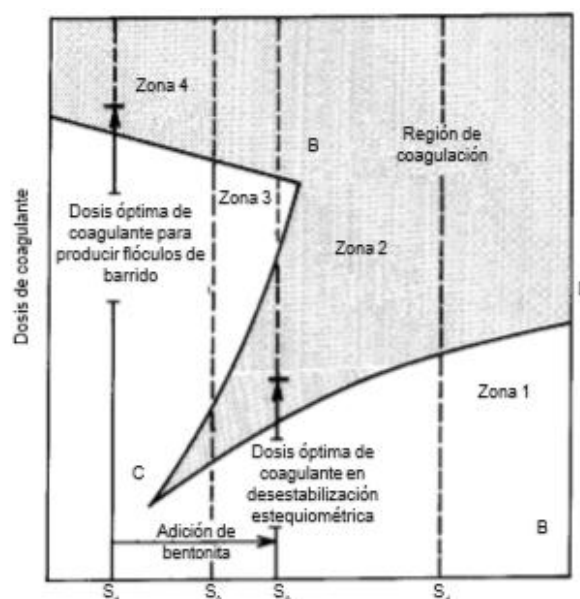


Figura 3-6. Concentración de coloide, expresada como concentración de superficie.

FUENTE: de VARGAS Ligia, Tratamiento de agua para consumo humano, Teoría

La figura 3-6 presenta la reacción entre la dosis de coagulante y la concentración coloidal (m^2/l) con pH constante. Las concentraciones bajas de coloide (S1 en la figura 3-6) requieren la producción de grandes cantidades de precipitado de hidróxido amorfo. En tales casos, cuando la turbiedad del agua es baja, no hay suficientes partículas en suspensión para producir el contacto necesario en la formación de flóculos.

Para mayores concentraciones de coloide (S2 + S3 en la figura 3-8), se necesitan menores dosis de coagulante que en el caso S1.

En S2 + S3 las partículas coloidales proveen núcleos para la precipitación. En el transcurso de S2 a S4 se puede notar que al aumentar las concentraciones de coloides se requiere también aumentar las de coagulante.

Las aguas de baja turbiedad pueden ser coaguladas mediante otra técnica muy conocida: adición de partículas de arcilla; por ejemplo, bentonita, para aumentar la turbiedad antes de inyectar el coagulante. De este modo, se necesitan menores dosis de coagulante debido a la existencia de un mecanismo de adsorción en vez de uno de captura.

3.2.3.4. Concentración óptima

La aplicación uniforme del coagulante al agua es la principal dificultad para la realización de una coagulación eficiente. El problema reside en que las cantidades de coagulante son muy pequeñas comparadas con el volumen de la masa de agua. Con la condición de que haya suficiente turbulencia, la dispersión será más efectiva cuando mayor sea el volumen de solución o más diluida sea esta, lo que resultará en una mejor remoción de la turbiedad porque el coagulante entrará más rápido y más fácilmente en contacto con el mayor número de partículas coloidales.

Estudios realizados por Jeffcoat y Single en 1975 demostraron que las mejores condiciones para la remoción de turbiedad se producen cuando se utilizan soluciones de sulfato bastante diluidas; sin embargo, con concentraciones inferiores a 0,1% la eficiencia en la remoción de turbiedad se reduce acentuadamente, debido a que el sulfato de aluminio puede hidrolizarse antes

de su aplicación. Se sugieren valores del orden de 1 a 2% como ideales para adoptar en el proyecto o en la operación de la planta de tratamiento.

3.2.4. Coagulantes

Los coagulantes son ampliamente utilizados en tratamiento de agua para algunos propósitos diferidos. Su uso principal es para desestabilizar suspensiones particuladas e incrementar la tasa de formación de flóculos.

Los productos químicos más usados como coagulantes en el tratamiento de las aguas son:

- sulfato de aluminio.
- sulfato ferroso y férrico.
- cloruro férrico.
- cloro-sulfato férrico.

El coagulante utilizando en la planta potabilizadora regional “Bayas” es el sulfato de aluminio sólido tipo A. VER ANEXO 1

3.2.4.1. Sulfato de aluminio

Puede estar en forma sólida o líquida. La sólida se presenta en placas compactas, gránulos de diverso tamaño y polvo. Su fórmula teórica es $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$.

Su concentración se define, en general, por su contenido en alúmina, expresada en Al_2O_3 , es decir, 17% aproximadamente. La densidad aparente del sulfato de aluminio en polvo es del orden de 1.000 kg/m^3 .

El contenido en alúmina Al_2O_3 de la forma líquida fluctúa generalmente entre 8 y 8,5%; es decir, 48 a 49% en equivalente polvo o también 630 a 650 g de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ por litro de solución acuosa.

El sulfato de aluminio es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas; su pH varía entre 2 y 3,8, según la relación molar sulfato/alúmina. Por esta razón, su almacenamiento debe hacerse en un lugar seco, libre de humedad. Es necesario tener en cuenta esta tendencia ácida para la preparación de las soluciones y los empaques para su distribución, y emplear, por lo general, materiales de plástico.

3.3. MEZCLA RÁPIDA.

Se denomina mezcla rápida a las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante, con la finalidad de que las reacciones de coagulación se den en las condiciones óptimas correspondientes al mecanismo de coagulación predominante. La dosificación se realiza en la unidad de mezcla rápida; por lo tanto, estas condiciones son las que idealmente debe reunir esta unidad para optimizar el proceso.

Se deduce que para que ocurra la neutralización de la carga, es imperativo que los coagulantes sean difundidos en la masa de agua tan rápido como sea posible (menos de 0,1 s), para que los productos que se desarrollan entre 0,01 y 1 segundo produzcan la desestabilización del coloide. Por el contrario, para la coagulación de barrido, la formación del hidróxido se produce en un rango de 1 a 7 segundos, por lo que es evidente que no es de crucial importancia disponer de tiempos de dispersión muy cortos o de altas intensidades de mezcla

3.3.1. Parámetros operacionales

Los parámetros operacionales de la mezcla rápida son la intensidad de agitación que se debe impartir a la masa de agua para dispersar al coagulante, la cual se evalúa mediante el gradiente de velocidad, y el tiempo durante el cual debe aplicarse esta agitación al agua. La magnitud de estos parámetros dependerá del tipo de coagulación que se va a llevar a cabo: coagulación por adsorción, o coagulación por barrido.

3.3.2. Factores que modifican el proceso.

Adicionalmente a los factores químicos que afectan las reacciones de coagulación, están las características propias de la mezcla rápida, que influyen de manera determinante en la eficiencia final de todo el tratamiento, como los parámetros operacionales de la unidad, el tipo de mezclador y el sistema de aplicación del coagulante.

3.3.2.1. Intensidad y tiempo de mezcla.

La adecuación de estos parámetros es de especial importancia cuando el mecanismo de coagulación predominante es el de adsorción o neutralización de

carga. En este caso, el coagulante debe dispersarse en forma instantánea en toda la masa de agua antes de que la hidrólisis del coagulante se complete, sobre todo cuando se emplean coagulantes inorgánicos como las sales de aluminio (III) o de hierro (III), por lo que si la unidad de mezcla no produce un gradiente de velocidad apropiado en un tiempo de retención instantáneo, no se habrá logrado una desestabilización completa.

3.3.3. Mezcladores

Las unidades normalmente utilizadas para producir la mezcla rápida se pueden clasificar en dos grandes grupos, dependiendo del tipo de energía utilizada para producir la agitación: mecánica e hidráulica (Tabla 3-2).

Mecánicos	Retromezclador en Línea	
Hidráulicos	Resalto Hidráulico	Canaleta Parshall
		Canal de fondo inclinado
		Vertedero Rectangular
	En línea	Difusores
		Inyectores
		Estáticos
	Caídas	Orificios
		Vertederos Rectangulares
	Contracciones	Medidor de Venturi
		Reducciones
		Orificios Ahogados
Velocidad o cambio de Flujo	Línea de bombeo	
	Codos	

Tabla 3-2 Tipos de vertederos

FUENTE: de VARGAS Ligia, Tratamiento de agua para consumo humano, Teoría

En los mezcladores mecánicos, la turbulencia necesaria para la mezcla proviene de una fuente externa, generalmente un motor eléctrico y, de este modo, puede ser fácilmente controlable. Por otro lado, la potencia disipada en los mezcladores hidráulicos tiene origen en el trabajo interno del fluido y, por lo tanto, es función

de la forma geométrica del mezclador y de las características del flujo, lo que hace que las condiciones de mezcla sean difíciles de controlar por el operador. [1]

Igualmente por el tipo de mezclador en el que se trabaja en la planta potabilizadora de agua regional “Bayas”, nos vamos a enfocar teóricamente al vertedero rectangular con resalto hidráulico, además de ser los más comunes con los mezcladores en línea, en el tratamiento de agua potable.

3.3.3.1. Unidades hidráulicas

En estas unidades la turbulencia que ocasiona la mezcla es producida por la generación de un resalto hidráulico que causa un gradiente de velocidad de alrededor de 1.000 s⁻¹. Estas unidades tienen la ventaja de que, además, involucran la medición del caudal de ingreso a la planta. [2]

3.3.3.1.1 Resalto Hidráulico

El resalto hidráulico es un fenómeno que ocurre cuando la corriente líquida pasa de un régimen rápido a uno tranquilo, a través de una profundidad crítica, y discurre de una profundidad menor a una mayor, mientras que la velocidad cambia de mayor a menor que la crítica. La figura 3-9 ilustra cómo ocurre el resalto a través de la curva de energía específica.

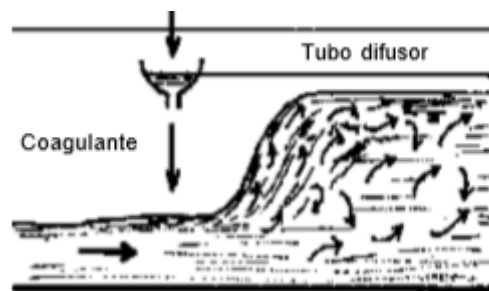


Figura 3-7. Resalto hidráulico

FUENTE: de VARGAS Ligia, Tratamiento de agua para consumo humano, Teoría.

Estas unidades son adecuadas para todo tipo de aguas; es decir, tanto para las que coagulan por el mecanismo de absorción o neutralización de carga como para las de barrido.

[1]

3.3.4. Mezcla Rápida en Vertederos Rectangulares.

La planta potabilizadora en la cual este trabajo está enfocado consta de este tipo de vertedero, así que desarrollaremos teóricamente el mismo.

El vertedero rectangular es una unidad que consiste en un canal rectangular con un vertedero rectangular sin contracciones a todo lo ancho del canal. [2]

En la figura 3-9 se representa la configuración del flujo y del resalto hidráulico en un vertedero rectangular.

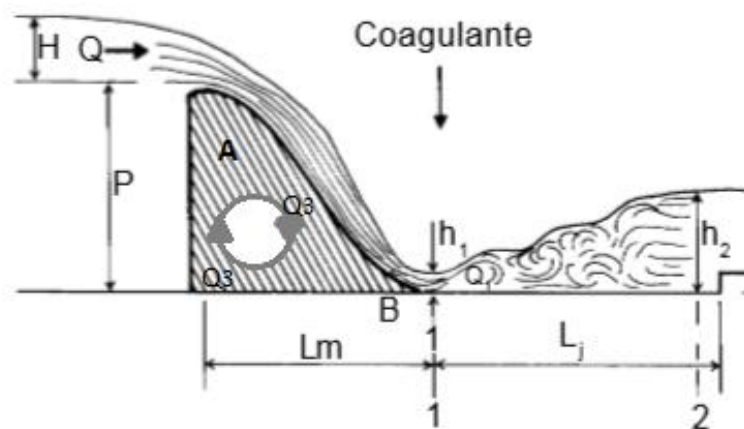


Figura 3-9 Configuración del resalto en un vertedero rectangular.
FUENTE: ROMERO Rojas Jairo Alberto, Purificación del agua

Para asegurar una dispersión homogénea y continua del coagulante en toda la masa de agua cruda, el coagulante debe aplicarse sobre la sección 1, a una distancia L_m del vertedero. La aplicación de coagulante a una distancia menor de L_m no es recomendable, porque haría que parte del agua cruda recibiese una dosis mayor de coagulante y la restante una dosis menor. Sin embargo, debe reconocerse que si se aplica coagulante a una distancia menor que L_m , se aprovecha toda la energía del resalto disponible para la mezcla. [11]

Este tipo de vertedero generalmente es usado para plantas pequeñas, caudal constante y flujo por gravedad.

[1]

3.4. TEORÍA DE LA FLOCULACIÓN.

El término floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculantes. Es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar las colisiones entre ellas, sin romper los agregados preformados.

Normalmente, la floculación se analiza como un proceso causado por la colisión entre partículas. En ella intervienen, en forma secuencial, tres mecanismos de transporte:

- **Floculación pericinética o browniana.** Se debe a la energía térmica del fluido.
- **Floculación ortocinética o gradiente de velocidad.** Se produce en la masa del fluido en movimiento.
- **Sedimentación diferencial.** Se debe a las partículas grandes, que, al precipitarse, colisionan con las más pequeñas, que van descendiendo lentamente, y ambas se aglomeran.

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

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

3.4.1. Factores que influyen en la floculación.

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

3.4.1.1. Naturaleza del Agua

La coagulación y, por consiguiente, la floculación son extremadamente sensibles a las características fisicoquímicas del agua cruda, tales como la alcalinidad, el pH y la turbiedad.

Algunos iones presentes en el agua pueden influir en el equilibrio fisicoquímico del sistema, en la generación de cadenas poliméricas de los hidróxidos que se

forman o en la interacción de estos polímeros con las partículas coloidales, lo que afectará el tiempo de floculación. La presencia de iones $SO_4^{=}$, por ejemplo, tiene marcada influencia en el tiempo de formación de los flóculos, en función del pH (fig. 3-10).

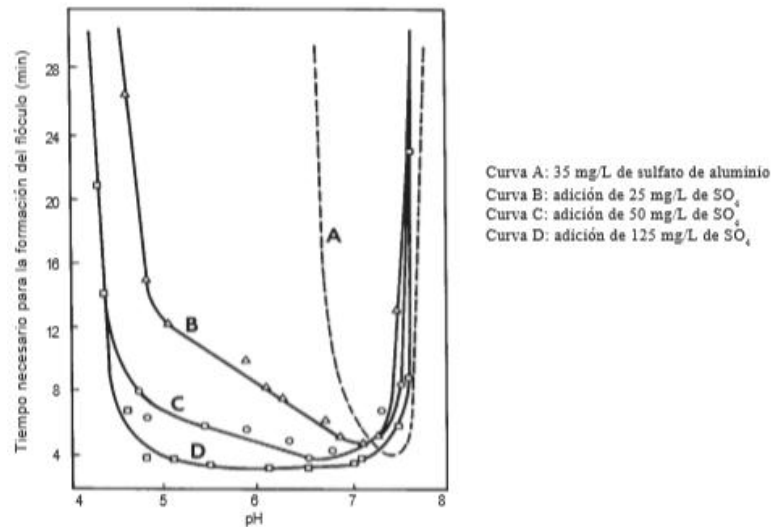


Figura 3-10. Efecto del ion sulfato sobre el tiempo de formación del flóculo de sulfato de aluminio
 FUENTE: de VARGAS Ligia, Tratamiento de agua para consumo humano, Teoría

3.4.1.2. Tiempo de Floculación

En todos los modelos propuestos para la floculación, la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo. Bajo determinadas condiciones como la gradiente de velocidad, existe un tiempo óptimo para la floculación, normalmente entre 20 y 40 minutos (figura 3-11).

La permanencia del agua en el floculador durante un tiempo inferior o superior al óptimo produce resultados inferiores, tanto más acentuados cuanto más se aleje este del tiempo óptimo de floculación.

[1]

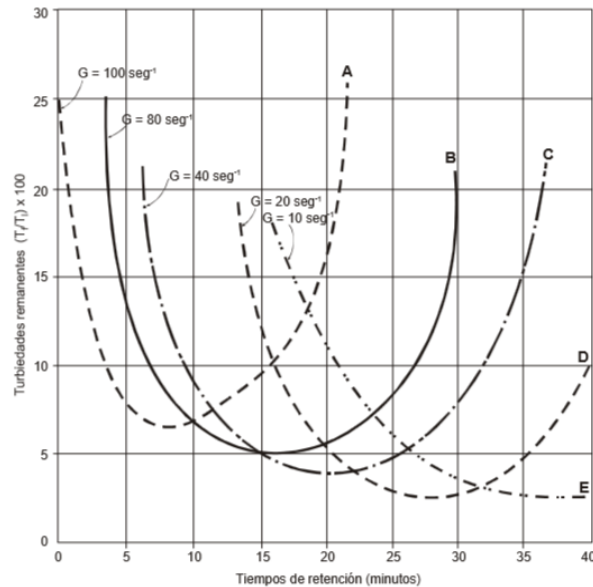


Figura 3-11. Efecto de la gradiente de velocidad en el tiempo de retención.
FUENTE: de VARGAS Ligia, Tratamiento de agua para consumo humano, Teoría.

3.4.1.3. Gradiente de velocidad

Cuanto mayor es el gradiente de velocidad, más rápida es la velocidad de aglomeración de las partículas. Mientras tanto, a medida que los flóculos aumentan de tamaño, crecen también las fuerzas de cizallamiento hidrodinámico, inducidas por el gradiente de velocidad. Los flóculos crecerán hasta un tamaño máximo, por encima del cual las fuerzas de cizallamiento alcanzan una intensidad que los rompe en partículas menores.

La resistencia de los flóculos depende de una serie de factores:

- De su tamaño, forma y compactación;
- Del tamaño, forma y naturaleza de las micropartículas; y
- Del número y forma de los ligamentos que unen a las partículas.

Los valores recomendados de gradientes de velocidad para floculación se encuentran dentro de un rango de 100 a 10 s⁻¹

[1]

3.4.1.4. Variación del caudal

Es conocido que al variarse el caudal de operación de la planta, se modifican los tiempos de residencia y gradientes de velocidad en los reactores.

El floculador hidráulico es algo flexible a estas variaciones. Al disminuir el caudal, aumenta el tiempo de retención y disminuye el gradiente de velocidad. Al aumentar el caudal, el tiempo de retención disminuye, el gradiente de velocidad se incrementa y viceversa.

[1]

3.4.2. Tipos de floculadores.

Se acostumbra clasificar a los floculadores como mecánicos o hidráulicos de acuerdo con el tipo de energía utilizada para agitar la masa de agua.



El tipo de floculadores utilizados en la planta de potabilización de Bayas son los hidráulicos de pantallas verticales.

[1]

3.4.2.1. Floculadores hidráulicos.

Los más comunes son los de pantalla de flujo horizontal y los de flujo vertical. El floculador de flujo horizontal consiste en un tanque de concreto dividido por tabiques, baffles o pantalla de concreto u otro material adecuado, dispuesto en tal forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques. En el floculador de flujo vertical el agua fluye hacia arriba y hacia abajo, por encima y por debajo de los tabiques, pantallas o baffles que dividen el tanque. En general, los floculadores hidráulicos, con una velocidad de flujo apropiada y un número adecuado de baffles para asegurar suficientes curvas, proveen una floculación efectiva (fig 3-12)

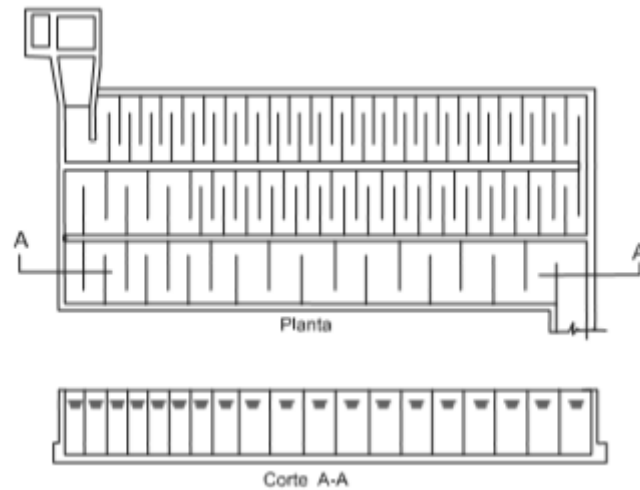


Figura 3-12. Floculadores de pantallas.

FUENTE: de VARGAS Ligia, Tratamiento de agua para consumo humano, Teoría.

En la práctica, los floculadores hidráulicos de flujo horizontal se usan para plantas pequeñas, con caudales menores de 50 l/s; los de flujo vertical que se construyen más profundos (2-3m), para plantas grandes.

En comparación con los floculadores mecánicos, se pueden señalar como desventajas de los floculadores hidráulicos la alta pérdida de carga (30-150 cm) y la poca flexibilidad de control en el grado de mezcla para caudales variables. Entre las ventajas se destacan la inexistencia de equipo mecánico y el mantenimiento mínimo. [11]

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA DE LA EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE FLOCULACIÓN Y COAGULACIÓN

En este capítulo se describirá los procedimientos y criterios para la evaluación del comportamiento de los procesos y unidades de coagulación y floculación, para este tipo de plantas de tratamiento de agua convencionales, basándonos en bibliografía y metodología adecuada para la misma.

4.1. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN

4.1.1. Dosificación del coagulante.

Para evaluar la aplicación de sustancias químicas en una planta de tratamiento de agua, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Características del coagulante utilizado: tipo, dosis, concentración de la solución.
- Ayudante de coagulación y dosis óptima correspondiente;
- Características de las unidades de dosificación: tipo, exactitud, etcétera.

4.1.1.1. Características del coagulante

Para la evaluación del coagulante, se describirá primeramente el tipo de coagulante utilizado, con sus características principales (formulación, pureza, etc.). Además se evaluará la calidad de coagulante, esencialmente su facilidad de disolución en agua, y que no haya pérdidas de sustancia química por una formación de grumos o una incorrecta disolución. [3]

4.1.1.1.1. Dosis óptima y concentración de la solución.

EL principal análisis para el tratamiento de coagulación es la evaluación de la dosis óptima del coagulante. En la práctica no sería adecuado adicionar una cantidad arbitraria de coagulante porque esto podría representar sobrecostos al proceso de tratamiento del agua o, si se agrega una cantidad menor que la necesaria, la coagulación no sería efectiva. Por esta razón se deben realizar

ensayos previos para determinar la cantidad óptima de coagulante que se debe adicionar a un agua cruda con determinadas concentraciones.

Este ensayo consiste en la adición de dosis crecientes de coagulante y/o floculante a una serie de porciones del agua a ensayar, determinando después de un período de agitación adecuado, las características del coágulo y algunas propiedades físicas y químicas, que permiten establecer las dosis óptimas de coagulante que deben añadirse al agua para su tratamiento.

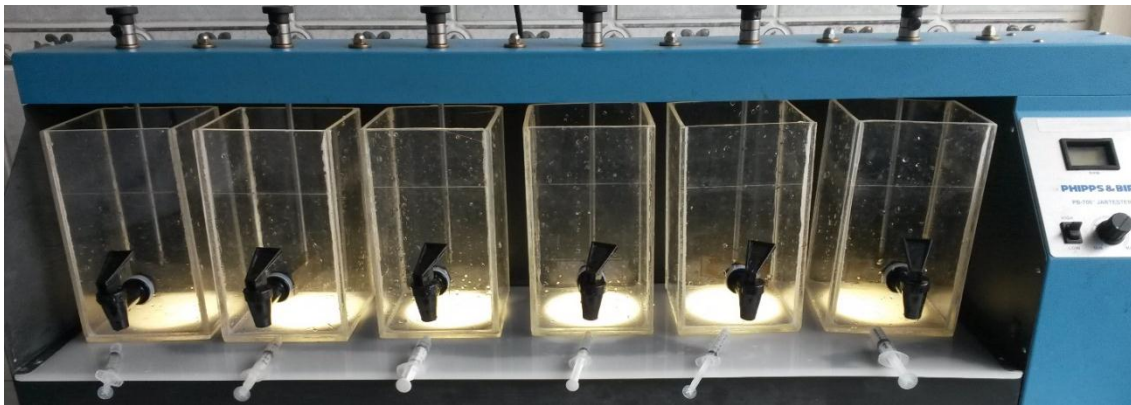


Figura 4-1: Equipo de Prueba de Jarras.

Este ensayo se realiza, con una simulación a nivel de laboratorio o escala, mediante la denominada Prueba de Jarras. La misma que es un sistema simple de vasos y paletas permite simular condiciones hidráulicas. [3]

El procedimiento a seguir en la prueba de Jarras, para simular el proceso en la planta de tratamiento de agua, se indica en el Anexo 3.

4.1.1.2 Características del ayudante de coagulación.

Igualmente la principal característica a evaluar del ayudante de coagulación es la dosis óptima. La base de esta evaluación es la misma que para el coagulante y se realizara de la misma manera, es decir con el test de Prueba de Jarras.

El procedimiento está desarrollado en el Anexo 4, pero para este caso la variable que va a cambiar es la concentración de ayudante de coagulación.

[3]

4.1.1.3 Características de las unidades de dosificación.

En la evaluación de una unidad de dosificación es necesario determinar, la capacidad, el tiempo de duración, y además del grado de exactitud del equipo dosificador.

[3]

4.1.2 Evaluación de la mezcla rápida.

Para determinación del comportamiento de la unidad de mezcla rápida se va a analizar lo siguiente:

- Geometría de la unidad.
- Determinación del tiempo de mezcla.
- Determinación de la intensidad de la mezcla.
- Evaluación del caudal de operación para un vertedero rectangular.

4.1.2.1 Geometría de la unidad.

Consiste en determinar las dimensiones y si la unidad fue correctamente proyectada, y en este caso para vertederos, que el resalto sea estable y uniforme a lo ancho del canal.

[3]

4.1.2.2 Determinación del tiempo de mezcla.

El tiempo de retención es un parámetro que generalmente se emplean en las evaluaciones de plantas de tratamiento de agua, el mismo que se lo calcula con el propósito de medir la rapidez o lentitud con la que ocurren las reacciones en el reactor que se va a medir.

Procedimiento:

La metodología del uso de trazadores, generalmente indica que para la medición de la conductividad en lapsos de tiempos, se debe obtener muestras, para que la medición sea exacta. Debido a que en los vertederos rectangulares, diversas bibliografías coinciden que el tiempo de mezcla en estas unidades esta alrededor

de 1 segundo, la toma de muestras se torna difícil e inexacta en lapsos que estén dentro de 1 segundo.

Para lo cual el procedimiento a seguir será, con el equipo Medidor de Sólidos Disueltos HACH (ver especificaciones ANEXO 14, registro fotográfico ANEXO 15), se le ubicará en un punto constante de medición (ver figura 4-2).

Se deberá antes preparar una sustancia trazadora, con una concentración adecuada para que el equipo pueda detectar, en el volumen de agua del mezclador. Por experimentación; para este equipo se preparara, en 8 litros de agua se colocara 100 gr de NaCl.

Con el equipo colocado en el punto de medición, se medirá primero la conductividad inicial de agua cruda; adicionamos un volumen de 50 cm³ de la sustancia trazadora al final del vertedero, el tiempo se determinara desde el inicio en el que la conductividad de agua cruda cambia, hasta el momento en el que se exprese la máxima conductividad. Es por esto, la importancia de realizar varias pruebas, primero para determinar la máxima conductividad, con esta cantidad de sustancia trazadora, y segundo, para que los resultados del tiempo tengan repetitividad, y sean confiables.

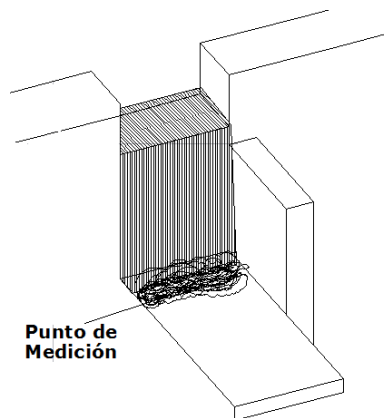


Figura 4-2. Punto de medición del tiempo de mezcla.

* Metodología Desarrollada: Autoría Propia.

Interpretación de los resultados

El tiempo de mezcla debe tener relación con el tipo de proceso de coagulación que se desarrolla; así, si se produce coagulación por adsorción, el tiempo de

mezcla debe ser inferior a un segundo, pero si se produce coagulación de barrido, puede variar desde menos de uno hasta cerca de 7 segundos.

[3]

4.1.2.3 Determinación de la intensidad de la mezcla.

Procedimiento

- Determinar la pérdida de carga H.
- Determinar la temperatura del agua y seleccionar en la tabla el valor de $\sqrt{\gamma/\mu}$
- Aplicar trazadores y determinar el tiempo de retención real en la unidad.

Temperatura °C	$\sqrt{\gamma/\mu}$
0	2337
4	2502
10	2737
15	2920
17	2998
20	3115
25	3267

Tabla 2-1 Relación de Temperatura.

FUENTE: Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de Filtración rápida. MANUAL IV: Evaluación de plantas de tecnología apropiada.

4.1.2.3.1. Determinación de la pérdida de carga H.

Para la determinación de la pérdida de energía vamos a seguir la metodología de cálculo que la formuló Ritcher, para la configuración de un vertedero rectangular.

Iniciamos calculando la profundidad crítica de flujo, h_c , es: [11]

$$h_c = (q^2/g)^{1/3} \quad \text{Ec. 4-1}$$

$$q = \frac{Q}{B} \quad \text{Ec. 4-2}$$

De donde:

Q = Caudal de Operación

B = Ancho del Vertedero

Cuando hay resalto, la profundidad del agua debe estar relacionada con la profundidad crítica, h_c , por la ecuación de White:

$$\frac{h_1}{h_c} = \frac{\sqrt{2}}{1.06 + \sqrt{P/h_c + 1.5}} \quad \text{Ec. 4-3}$$

P = Altura del vertedero

El número de Froude, F_1 , para que haya resalto estable y mezcla eficiente, debe estar comprendido entre 4.5 y 9.0.

Así, los valores de V_1 y V_2 se calculan por las siguientes expresiones:

$$V_1 = \frac{q}{h_1} \quad \text{Ec. 4-4}$$

$$V_2 = \frac{q}{h_2} \quad \text{Ec. 4-5}$$

El número de Froude se calcula mediante la ecuación:

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g h_1}} \quad \text{Ec. 4-6}$$

Así, las profundidades antes y después del resalto, h_1 y h_2 , se relacionan entre sí:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1}{2} \quad \text{Ec. 4-7}$$

El valor de la pérdida de energía o carga en el resalto, H , se puede calcular por la fórmula de Belanger:

$$H = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1 h_2} \quad \text{Ec. 4-8}$$

Calculada la pérdida de carga el gradiente de velocidad será:

$$G = \sqrt{\gamma/\mu} * \sqrt{\frac{H}{T_R}} \quad \text{Ec. 4-9}$$

Dónde:

H = pérdida de carga (cm)

T_R = tiempo real de retención (seg)

$\sqrt{\gamma/\mu}$ = función de temperatura.

γ = peso específico del agua.

$\mu =$ viscosidad del agua.

[3]

4.1.2.4 Evaluación del caudal de operación para el vertedero rectangular.

Un vertedero es un muro o una barrera que se interpone al flujo, causando sobre-elevación del nivel de la lámina aguas arriba y disminución aguas abajo. Una de las principales función de los vertederos, generalmente del vertedero rectangular, es el aforo o medición de caudales.

Para la evaluación utilizaremos la fórmula de medición de caudal para vertederos rectangulares de cresta ancha. [15]

$$Q = 1.71(L) H^{1.5} \quad \text{Ec. 4-10.}$$

Q: caudal en m^3/s .

L: ancho del vertedero en m .

H: carga o altura del líquido sobre el vertedero m .

Con evaluación, se comprobaran si los caudales registrados en la planta, son los reales con los que se procesa para el tratamiento.

4.2 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN

La unidad de floculación tiene la función de formar el flóculo, que debe reunir ciertas características —peso, tamaño y compacidad— y para lograrlo, esta unidad debe trabajar bajo determinados parámetros que están en función de la calidad del agua que trata.

A continuación se detallan los ensayos que es preciso llevar a cabo para evaluar las características del proceso de floculación.

- Geometría de la unidad;
- Tiempo de formación del flóculo;
- Caudal de operación;
- Tiempo de retención de la unidad de floculación;
- Intensidad de floculación o gradientes de velocidad en la unidad;

- Características hidráulicas de la unidad: tipo de flujo, espacios muertos y cortocircuitos.

4.2.1 Geometría de la unidad.

Consiste en determinar, el tipo y dimensiones de la unidad de floculación, con su respectivo número de placas en cada módulo. Además, se deberá determinar, de manera visual, si la unidad de floculación soporta la presión con la que se opera, tomando en cuenta si existen deformaciones en las placas, o roturas de las mismas. [3]

Otro aspecto fundamental, es el correcto número de compartimentos o baffles, que se calculara, mediante la fórmula:

$$N = \frac{L}{P_e} \quad \text{Ec. 4-11.}$$

Dónde:

L= Longitud que atraviesa el agua por todo el floculador.

P_e= Profundidad equivalente.

- $P_e = P - H$
- $L = v * t$

Dónde:

P= Profundidad de floculador.

H= Perdida de Carga.

v= Velocidad entre los compartimientos.

t= Tiempo de retención.

Estos parámetros deben ser los considerados o evaluados, con la capacidad que se diseñó la planta, que es de 20 l/s.

[11]

4.2.2 Tiempo de formación del flóculo

Determinar, en segundos, el tiempo que tarda en aparecer el primer indicio de formación de flóculo es uno de los sistemas para cuantificar la velocidad de la reacción. [3]

Procedimiento:

- Partiendo del inicio de la unidad, tomar muestras en el punto medio de cada tramo o cámara, a una profundidad de 50 centímetros aproximadamente.
- Cada muestra que se extrae se va observando a contraluz. El ensayo concluye en el momento en que se empiezan a observar los primeros indicios de formación de los flóculos.
- Se determina el volumen (V) comprendido entre el inicio de la unidad y el punto en que se detectaron los primeros flóculos en formación.

El tiempo de formación del flóculo será:

$$T_p = \frac{V}{Q} \quad \text{Ec. 4-12.}$$

4.2.3 Caudal de operación en los floculadores.

El propósito de la evaluación del caudal de operación será además de comprobar el valor de caudal total de operación, evaluando también la distribución de caudales en los floculadores.

Para la evaluación, vamos a proceder mediante la metodología de aforar el caudal de cada uno de los módulos, a la salida del sedimentador.

Procedimiento:

- Con un recipiente graduado se toma muestras de agua en un tiempo determinado que salen por cada uno de los conductos dispuestos a lo largo del sedimentador y de manera horizontal tal y como se muestra en la figura 4-4.
- Una vez realizado este procedimiento en cada uno de los conductos, se suman los caudales obtenidos en cada uno de ellos obteniendo así el caudal total del módulo.
- El mismo proceso descrito en los puntos anteriores, se realiza en el otro módulo para saber el caudal con el que trabaja.*

Nota: se debe tomar en cuenta que la medición del aforo se la realizará, además del recipiente graduado, con una probeta de 1000 ml para hacer más exacto el resultado.



Figura. 4-4 Toma de muestra de agua de los conductos.

* Metodología Desarrollada: Autoría Propia.

4.2.4 Tiempo de retención.

Teóricamente el tiempo de retención se lo obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$t_o = \frac{V}{Q} \quad \text{Ec. 4-13.}$$

Dónde:

V = volumen de la unidad.

Q = caudal [3]

La permanencia es un concepto abstracto. Puede concebirse como el “tiempo promedio en el que el fluido de caudal (Q) pasa a través del reactor del volumen (V)

La expresión nos quiere decir que es el tiempo en que tardaría una molécula de agua en entrar y salir de la unidad.

En la práctica, la medición del tiempo de retención es difícil debido a la presencia de zonas muertas, corrientes de inercia, cortocircuitos hidráulicos, etcétera que imposibilita la estabilidad de las condiciones de flujo.

Para realizar la evaluación mediante trazadores, aplicamos la dosificación instantánea, para este caso usamos como sustancia trazadora cloruro de sodio (NaCl) en solución, la cantidad de trazador P (kg) que se necesita añadir al reactor en evaluación está dada por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{V \times K \times C_o}{I \times 10^3} \quad \text{Ec. 4-14.}$$

Dónde:

P = peso del trazador por añadir al reactor, kg

V = volumen útil del reactor, m³

K = constante de corrección

C_o = concentración, mg/l o g/m³

I = grado de pureza del trazador, fracción de la unidad.

$$K = \frac{\text{Peso de NaCl}}{\text{Peso Cl}} = \frac{23+35,5}{35,5} = 1,65 \quad \text{Ec. 4-15.}$$

El tipo de dosificación para evaluar será el de dosificación instantánea.

Se aplica una concentración (C_o) a la entrada del floculador en un tiempo muy corto, (t_o) y en un punto tal que se mezcle instantáneamente con la masa de agua afluyente de la unidad que se piensa analizar.

En la dosificación instantánea, la concentración (C_o) que se escoja debe ser tal que se pueda determinar con facilidad en el agua. Para el caso del uso del ion cloruro como trazador, es común usar concentraciones de entre 30 y 50 mg/L.

Interpretación de Resultados:

Para el análisis del tiempo de retención se puede aplicar la metodología de la curva RTD o Curva de los tiempos de residencia. (CEPIS 2004)

El tiempo de retención real será en el cual se exprese la mayor concentración de la sustancia trazadora.

[3]

4.2.5 Intensidad de floculación o gradiente de velocidad

Procedimiento

- Determinar la pérdida de carga en el floculador (H) en cada tramo nivelando la superficie del agua (Procedimiento, ANEXO 5).
- Determinar la temperatura del agua y seleccionar en la tabla 4-1 el valor de

$$\sqrt{\gamma/\mu}$$

- Aplicar trazadores y determinar el tiempo de retención real en la unidad.

Se aplica la Ec. 4-9:

$$G = \sqrt{\gamma/\mu} * \sqrt{\frac{H}{T_R}}$$

[3]

4.2.6. Características hidráulicas.

Para determinar y caracterizar los flujos, evaluar la eficiencia hidráulica de los floculadores se realizaron ensayos de trazadores, se establecieron los tiempos reales de retención de cada uno tomándose muestras a periodos de tiempo predeterminados.

4.2.6.1. Modelo simplificado de Wolf-Resnick.

El modelo matemático permite cuantificar el porcentaje de flujo pistón (P), Mezcla completa (M), y zonas muertas (m), que se presentan en la operación normal del reactor a partir de parámetros como θ y $Tan\alpha$.

Flujo de pistón, que podríamos definir como “aquel que existe cuando las láminas líquidas de espesor (dl) que entran al reactor se desplazan paralelas a sí mismas y perpendicularmente en el sentido del flujo, sin mezclarse”.

Por contraposición, el flujo totalmente mezclado es “aquel que existe cuando la composición del efluente en cualquier instante es idéntica al de toda la masa líquida”.

Sin embargo, el flujo de pistón y el flujo mezclado son dos casos extremos ideales que en la práctica rara vez ocurren en las plantas de tratamiento.

Por lo general, coexisten los dos tipos de flujo (pistón y mezclado), pues el número de reactores colocados en serie es limitado (uno a seis), existe mezcla de flujo entre las distintas cámaras y, por lo tanto, parte del flujo sale antes y después del tiempo inicial (t_0). [3]

Procedimiento:

Se grafican los valores de t/t_0 y $1-F(t)$ en escalas aritméticas-logarítmicas respectivamente. Se traza la línea tangente en el punto donde la curva se empieza a volver vertical. Para trazar la línea tangente en el mejor punto, es necesario evaluar la tendencia lineal de los últimos valores y a partir del coeficiente de correlación, seleccionar el punto en el que verdaderamente empieza a comportarse linealmente la parte final de la curva. Si esta línea empezara antes a volverse vertical el valor de $\tan\alpha$ sería menor porque aumentaría la diferencia entre los puntos de corte ($Y=1$ e $Y=0,1$). Así mismo si se trazara la línea tangente en puntos donde es más evidente la tendencia vertical, el valor de $\tan\alpha$ podría aumentar demasiado.

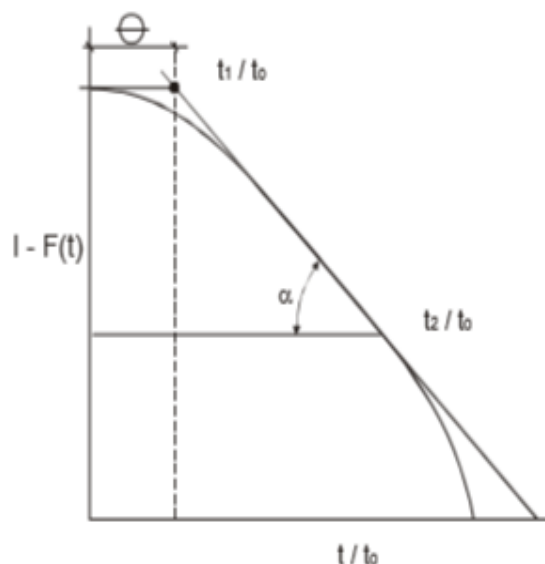


Figura 4-5: Curva de $1-F(t)$ Cantidad de trazador que permanece en el reactor.

FUENTE: de VARGAS Ligia, Tratamiento de agua para consumo humano, Evaluación de plantas de tecnología apropiada

Es evidente que cuando no hay espacios muertos, la fracción de flujo de pistón (p) y la fracción de flujo de no pistón ($1-p$) deben ser iguales a la unidad:

$$\text{Flujo de pistón} + \text{flujo de no pistón} = 1$$

$$P + (1 - p) = 1 \quad \text{Ec. 4-16}$$

Cuando hay espacios muertos, si m es la fracción del volumen considerado como espacio muerto, la fracción que no tiene espacios muertos será igual a $1-m$ y por lo tanto:

$$\text{Flujo de pistón} + \text{flujo de no pistón} + \text{espacios muertos} = 1$$

$$[p(1 - m)] + [(1 - p)(1 - m)] + m = 1 \quad \text{Ec.4-17}$$

Para obtener los porcentajes de los flujos detallados, se utilizarán las siguientes ecuaciones: [3]

$$\tan \alpha = \frac{0,435 p}{p(1-m)(1-p)} \quad \text{Ec. 4-18.}$$

Lo que hace:

$$\theta = p(1 - m) \quad \text{Ec. 4-19}$$

Reemplazando en la *Ec. 4-14* y reordenando, tenemos:

$$p = \frac{\theta \tan \alpha}{0,435 + \theta \tan \alpha} \quad \text{Ec. 4-20.}$$

De la *Ec 4-15* se puede deducir que el volumen de espacios muertos será igual a:

$$m = 1 - \frac{\theta}{p} \quad \text{Ec 4-21}$$

y el flujo mezclado M será igual a:

$$M = 1 - p \quad \text{Ec. 4-22}$$

Los valores de las incógnitas θ y $\tan \alpha$ se obtienen al trazar la curva de $\text{Log}_{10} F(t)$, donde:

$$\theta = \frac{t_1}{t_0}; \text{ y} \quad \text{Ec. 4-23.}$$

$$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{t_2}{t_0} - \frac{t_1}{t_0}} \quad \text{Ec. 4-24}$$

4.2.6.2. Análisis por el método de la curva de tendencia.

Se grafican los datos de t y $C-C_0$ del ensayo de trazadores en escala aritmética, se levantó la curva de tiempo de residencia y el análisis de esta, el mismo en el que se determinan los siguientes parámetros:

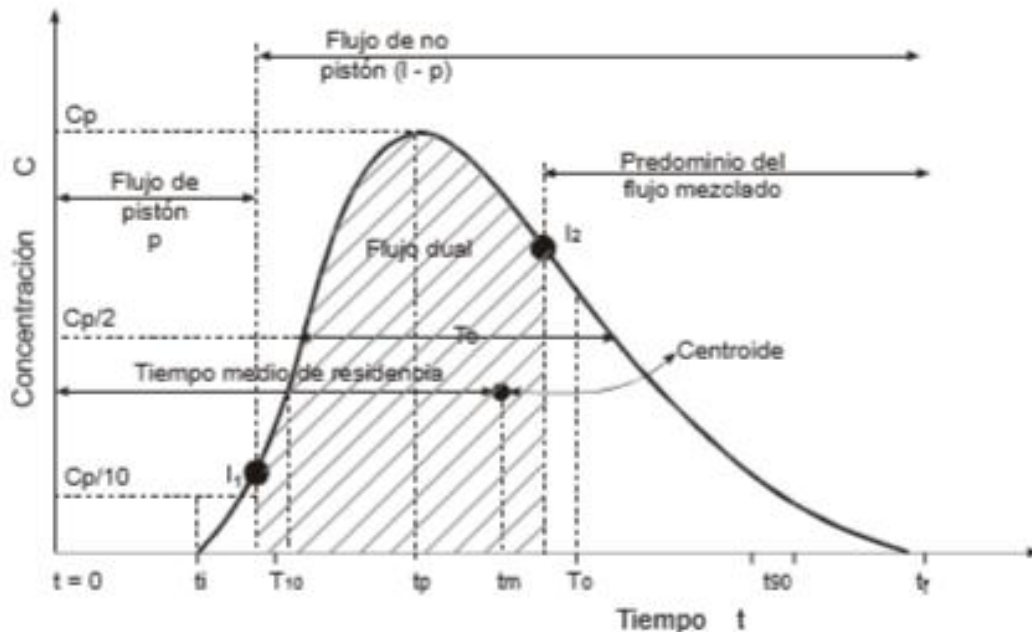


Figura 4-6: Concentración del trazador en el efluente de un reactor.

FUENTE: de VARGAS Ligia, Tratamiento de agua para consumo humano, Evaluación de plantas de tecnología apropiada

- t_i = tiempo inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente.
- t_{10} = tiempo correspondiente al paso del 10% de la cantidad total del trazador.
- t_p = tiempo modal, correspondiente a la presentación de la máxima concentración.
- t_m = tiempo mediano, correspondiente al paso del 50% de la cantidad del trazador.
- t_o = tiempo medio de retención o tiempo teórico de retención $= V/Q$.
- t_{90} = tiempo correspondiente al paso del 90% de la cantidad total del trazador.
- t_f = tiempo que transcurre hasta que atraviesa la totalidad del trazador al reactor.

- C_0 = concentración inicial.
- C_p = concentración máxima a la salida.

[14]

Se pueden utilizar los siguientes criterios:

a) Mide los cortocircuitos grandes. Es igual a 1 para flujo de pistón y a 0 para el flujo mezclado. Si el valor de la relación es ($< 0,3$), puede significar que existe paso directo del trazador entre la entrada y la salida (cortocircuito hidráulico).

$$\frac{t_i}{t_o}$$

Ec. 4-25.

b) Si la relación es menor que la unidad, existen cortocircuitos hidráulicos. Si es mayor, hay errores experimentales o existen zonas donde el trazador ha quedado retenido por un cierto tiempo (espacios muertos), para luego salir lentamente, con lo que la rama descendente de la curva presenta una forma alargada, que desplaza el centroide del área y aumenta el valor de t_m , haciendo $t_m > t_o$.

$$\frac{t_m}{t_o}$$

Ec. 4-26

c) Indica la relación de flujo de pistón y flujo mezclado. Cuando es igual a 1, existe únicamente flujo de pistón, y cuando es 0, existe flujo mezclado. Cuando la relación t_p/t_o se aproxima a 1 y $t_i/t_o > 0,5$, se puede concluir que existe predominio de flujo de pistón, y cuando se aproxima a 0, existe predominio de flujo mezclado.

$$\frac{t_p}{t_o}$$

Ec. 4-27

d) Expresa la excentricidad de la curva y, por lo tanto, es función de la recirculación. Es igual a (0) para flujo de pistón y mayor de 2,3 para flujo mezclado ideal.

$$e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_i)}{t_o}$$

Ec. 4-28

4.2.6.3. Índice de Morrill.

Este autor encontró que al acumular los datos sobre cantidad de trazador que pasa, expresado en porcentajes y dibujados en papel que tenga escala de probabilidades en las abscisas y escala logarítmica en las ordenadas para diferentes tiempos, se obtenía aproximadamente una línea recta (fig. 4-7)

El segmento comprendido entre el 10% y el 90% es el más regular y por eso Morrill sugirió que la relación entre uno y otro se tomara como índice de dispersión. Así:

$$\text{Índice de Morrill} = \frac{\text{Tiempo en que pasa el 90\%}}{\text{Tiempo en que pasa el 10\%}} \quad \text{Ec. 4-29}$$

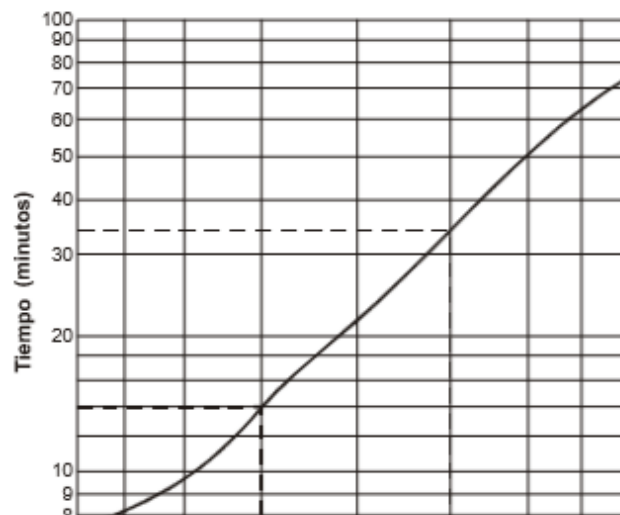


Figura 4-7: Índice de Morrill.

FUENTE: de VARGAS Ligia, *Tratamiento de agua para consumo humano, Evaluación de plantas de tecnología apropiada*

Si todo el flujo fuera de pistón, la curva de la figura sería una línea horizontal y el índice de Morrill sería 1, pues todo el trazador saldría en el tiempo ($t = t_0$) y nada saldría antes. En cambio, a medida que hay más proporción de flujo mezclado, aumenta el ángulo que la curva hace con la horizontal, pues hay una distribución más amplia del tiempo de retención.

[3]

CAPÍTULO 5

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE LOS PROCESOS DE COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN.

5.1 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN.

5.1.1 DOSIFICACIÓN DEL COAGULANTE.

5.1.1.1 Características del coagulante.

Producto obtenido generalmente por la reacción entre el ácido sulfúrico y una fuente rica en aluminio. Este producto es apto para el tratamiento de aguas potables, piscinas, en la fabricación de detergentes, en la industria petrolera y tratamiento de aguas residuales industriales. En el Anexo 1 están detalladas las características del coagulante.

5.1.1.2. Dosis óptima y concentración del coagulante.

Desde que empezó a operar la planta hasta la fecha no se había determinado la dosis óptima, por lo que hasta antes del presente estudio se trabajaba con la curva de la Empresa Municipal de Agua Potable de Azogues EMAPAL, por tener captaciones casi cercanas y suponiendo que las condiciones de agua cruda son similares.

Dentro de la optimización, se realizaron pruebas en el equipo de test de jarras, (ver procedimiento ANEXO 3), para diferentes muestras de agua cruda provenientes de las captaciones propias de la planta; con la obtención de la curva de dosificación del sulfato se optimizará la cantidad de coagulante, la curva se presenta en el numeral 6.1.2.1.

5.1.1.3. Características y dosis óptima del ayudante de coagulación.

El ayudante de coagulación que se utiliza en la planta, es un polímero catiónico, que es ideal para el proceso de potabilización de agua. La ficha técnica se encuentra en el ANEXO 2 con todas las especificaciones polímero.

Siguiendo el procedimiento del ANEXO 4 se realizaron pruebas con el equipo de test de jarras con diferente turbiedad de agua cruda. Los Resultados de cada prueba están descritos en el ANEXO 13.

Por análisis de cada una, se determinó que la dosis óptima en cada una, es similar, siendo esta la que consideraremos dosis óptima para el proceso de floculación.

Dosis Óptima de Polímero: 0.075 mg/l

5.1.2. Características de las unidades de dosificación.

5.1.2.1. Dosificadores: La planta de tratamiento no cuenta con equipos dosificadores, para adicionar la dosis óptima de coagulante necesario.

Por esto, como objetivo del trabajo de tesis, se propuso la construcción de un equipo de dosificación, con su respectiva calibración, para optimizar este proceso. El diseño, construcción y calibración del equipo se desarrollará en el próximo capítulo.

5.1.2.2. Difusores de coagulante

O también denominado flautín, el cual tiene la función de dispersar el coagulante uniformemente en el resalto hidráulico a lo ancho del canal, en este caso como se puede observar en la fig. 5-1 existe un desperdicio de químico debido a que se dirige hacia las paredes ya que los orificios del flautín no son del diámetro adecuado.



Figura 5-1. Flautín de dispersión de coagulante.

Se deberá construir un nuevo flautín, realizando pruebas para determinar los diámetros de los orificios, para los diferentes caudales de coagulante.

5.2. EVALUACIÓN DE LA MEZCLA RÁPIDA.

5.2.1. Geometría de la unidad.

La planta de tratamiento consta con un **vertedero rectangular** sin contracciones laterales a los largo del canal y en caída libre. Esta unidad genera un resalto estable al pie de la rampa.

Las dimensiones del mezclador se obtuvieron por medición directa y son:

Ancho del Vertedero(m)	0.37
Alto del Vertedero(m):	0.40

Tabla 3-1. Dimensiones del mezclador

Con respecto a la formación del resalto hidráulico, los operarios de la planta han colocado un madero, con lo que consideran un mejor desarrollo del proceso tanto en la formación de los flóculos. fig 5-2



Figura 5-2. Madero colocado en la formación de resalto hidráulico.

Para comprobar, si el madero altera el desarrollo del proceso, se realizó la evaluación del tiempo de mezcla o tiempo de retención, tanto con el madero y sin el mismo.

5.2.2. Determinación del tiempo de mezcla.

Realizando la medición del tiempo de mezcla con varias pruebas, se determinó que:

Tiempo de Retención con el madero: 2.7 s

Tiempo de Retención sin el madero: 1.1 s

Para los análisis posteriores, se tomará el tiempo de retención sin madero, ya que para este tipo de vertedero se necesita el menor tiempo de mezcla.

5.2.3. Determinación de la intensidad de la mezcla.

Para la intensidad de mezcla se utilizó la *Ec. 4-9*.

$$G = \sqrt{\gamma/\mu} * \sqrt{\frac{H}{T_R}}$$

- **Temperatura: 12 °C**

$$\sqrt{\gamma/\mu} = 2809$$

- **Tiempo de Retención:**

$$T_R = 1.1 \text{ s}$$

- **Determinación de la pérdida de carga.**

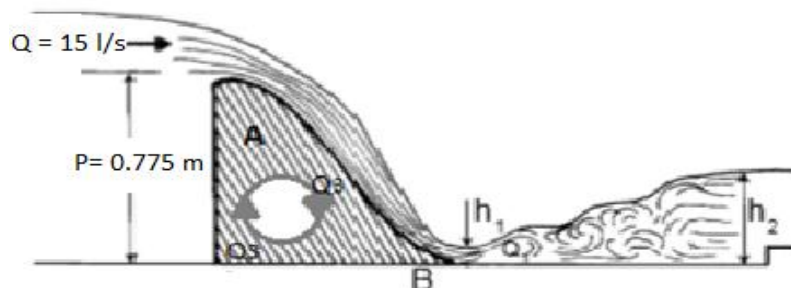


Figura 5-3. Configuración del vertedero rectangular.

$$Q = 15 \frac{l}{s} = 0.015 \frac{m^3}{s}$$

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

Q= Caudal de Operación

B= Ancho del Vertedero

$$q = \frac{0.015 \frac{m^3}{s}}{0.37 m}$$

$$q = \mathbf{0.04054 \frac{m^2}{s}}$$

$$h_c = \left(q^2 / g \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_c = \left(0.04054^2 / 9.8 \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_c = \mathbf{0.05514 m}$$

$$\frac{h_1}{h_c} = \frac{\sqrt{2}}{1.06 + \sqrt{P/h_c} + 1.5}$$

P= Altura del vertedero =

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} * 0.05514}{1.06 + \sqrt{0.775/0.05514} + 1.5}$$

$$h_1 = 0.0123 m$$

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

$$V_1 = \frac{0.04054 \frac{m^3}{s}}{0.0123 m}$$

$$V_1 = 3.2799 \frac{m}{s}$$

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g h_1}}$$

$$F_1 = \frac{3.2799}{\sqrt{9.8 * 0.0123}}$$

$$F_1 = 9.4$$

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1}{2}$$

$$h_2 = \frac{0.0123 * (\sqrt{1 + 8(9.4)^2} - 1)}{2}$$

$$h_2 = 0.1574 \text{ m}$$

$$H = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

$$H = \frac{(0.1574 - 0.0123)^3}{4 * 0.1574 * 0.0123}$$

$$H = 0.3944 \text{ m}$$

- $G = 2809 * \sqrt{\frac{0.3944 \text{ m}}{1.1 \text{ s}}}$

$$G = 1681.99 \text{ s}^{-1}$$

5.2.4. Evaluación del caudal de operación para un vertedero rectangular.

Para nuestro caso, el vertedero consta de un ancho de canal de $L = 0.37\text{m}$.

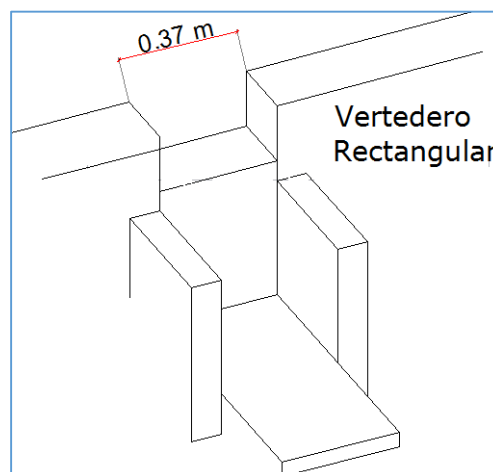


Figura 5-4. Ancho del vertedero rectangular.

A continuación, se realizará la corrección y elaboración de una tabla para obtener la medida de caudales dependiendo de la altura de la cresta de agua cruda con la Ec. 4-10. (Azevedo-Acosta 1976)

$$Q = 1.71(L) H^{1.5}$$

CAUDAL DE OPERACIÓN PARA EL VERTEDERO RECTANGULAR					
ALTURA	CAUDAL	ALTURA	CAUDAL	ALTURA	CAUDAL
cm	litros/s	cm	litros/s	cm	litros/s
0,2	0,057	5,2	7,502	10,2	20,611
0,4	0,160	5,4	7,939	10,4	21,220
0,6	0,294	5,6	8,385	10,6	21,835
0,8	0,453	5,8	8,838	10,8	22,456
1	0,633	6	9,299	11	23,083
1,2	0,832	6,2	9,768	11,2	23,715
1,4	1,048	6,4	10,244	11,4	24,353
1,6	1,280	6,6	10,728	11,6	24,997
1,8	1,528	6,8	11,219	11,8	25,646
2	1,790	7	11,718	12	26,301
2,2	2,065	7,2	12,224	12,2	26,961
2,4	2,352	7,4	12,736	12,4	27,627
2,6	2,653	7,6	13,256	12,6	28,298
2,8	2,964	7,8	13,783	12,8	28,974
3	3,288	8	14,316	13	29,656
3,2	3,622	8,2	14,857	13,2	30,343
3,4	3,967	8,4	15,403	13,4	31,035
3,6	4,322	8,6	15,957	13,6	31,733
3,8	4,687	8,8	16,517	13,8	32,435
4	5,062	9	17,083	14	33,143
4,2	5,446	9,2	17,655	14,2	33,856
4,4	5,840	9,4	18,234	14,4	34,573
4,6	6,242	9,6	18,819	14,6	35,296
4,8	6,654	9,8	19,411	14,8	36,024
5	7,074	10	20,008	15	36,757

Tabla 5-2. Caudal de operación para vertederos rectangulares

5.3 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN

5.3.1. Geometría de la unidad.

DIMENSIONES (m)		
LARGO	ANCHO	PROFUNDIDAD
7	0,7	2,6

Tabla 5-3. Dimensiones de los floculadores

La planta potabilizadora de Bayas cuenta con dos unidades de floculación de tipo hidráulico de flujo vertical (figura 5-5), cada una presentan las siguientes dimensiones:

Cada floculador 1 y 2 cuenta con 40 y 41 pantallas respectivamente, dispuestas verticalmente de material cemento-asbesto de dimensiones 0,7m de ancho y 1,8m de largo, adicionalmente disponen de 14 pantallas de hormigón intercaladas cada cuatro pantallas con las de asbesto cemento en cada módulo con la finalidad de soportar la presión con la que entra el agua al floculador, para evitar daños de las pantallas de cemento-asbesto al momento que se realiza el llenado la unidad cada vez que se efectúa el lavado del mismo.

El número de compartimientos es de:

Floculador 1: 54

Floculador 2: 56

Realizado el conteo, se procederá a evaluar si el número es correcto para la capacidad con la que fue diseñada la planta de tratamiento.

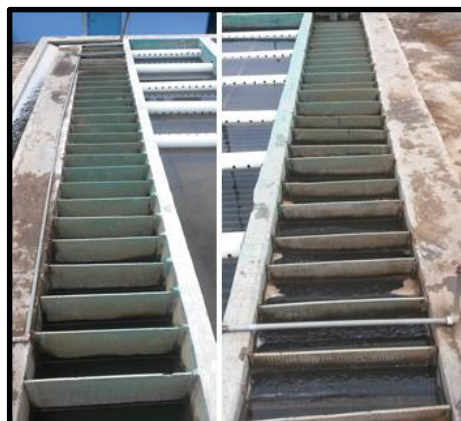


Figura. 5-5. Floculadores.

5.3.1.1 Evaluación del número de compartimientos en los floculadores.

Para esta evaluación se utilizará la velocidad de flujo entre los bafles o compartimientos, y el tiempo de retención para el cual se fue diseñado la planta de tratamiento, para un caudal de 20 l/s.

$$v = 0.15 \text{ m/s.}$$

$$t = 15 \text{ min} = 900 \text{ s}$$

El tiempo de retención se puede verificar, con una evaluación mediante trazadores realizado para un caudal de 19 l/s, descrito en el ANEXO 16.

Cálculo de la distancia total recorrida:

$$L = v * t$$

$$L = 0.15 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 900 \text{ s}$$

$$L = 135 \text{ m}$$

Cálculo de la profundidad efectiva del floculador 1:

Profundidad del Floculador: $P = 2.61 \text{ m}$

Perdida de Carga Floculador 1:

$H = 0.18 \text{ m}$ *Determinada en el apartado 5.3.5.*

$$P_e = P - H$$

$$P_e = 2.61 \text{ m} - 0.18 \text{ m}$$

$$P_e = 2.43 \text{ m}$$

Calculo de número de compartimientos o bafles:

$$N = \frac{L}{P_e}$$

$$N = \frac{135 \text{ m}}{2.43 \text{ m}}$$

$$N1 = 55.55 \approx 56 \text{ compartimientos.}$$

Cálculo de la Profundidad efectiva del floculador 2:

Profundidad del Floculador: $P = 2.61m$

Perdida de Carga Floculador 2:

$H = 0.193 m$ *Determinada en el apartado 5.3.5.*

$$P_e = P - H$$

$$P_e = 2.61m - 0.193 m$$

$$P_e = 2.417 m$$

Calculo de número de compartimientos o baffles:

$$N = \frac{L}{P_e}$$

$$N = \frac{135 m}{2.417 m}$$

$$N2 = 55.85 \approx 56 \text{ compartimientos.}$$

Como se describió anteriormente, estos cálculos se realizaron tomando en cuenta la capacidad de diseño de la planta de 20 l/s, trabajando con la velocidad de 0.15 m/s, que está dentro del rango que recomienda la bibliografía [11], de 0.15 m/s a 0.5 m/s. Procederemos a analizar la velocidad entre baffles, teniendo en cuenta que todas las evaluaciones se las realizó con caudales promedio, con los que generalmente siempre se trabaja en la planta.

Para el cálculo de las velocidades, tomaremos los tiempos de retención, obtenidos por experimentación, y analizaremos con el número de tabiques calculados, si las velocidades en cada floculador están dentro de lo que recomienda la bibliografía.

Floculador 1:

$$N = \frac{L}{P_e}$$

$$L = N * 2.43$$

$$L = 56 * 2.43 m$$

$$L = 136.08 \text{ m}$$

$$v = \frac{L}{t}$$

$t =$ Tiempo de retención 1 obtenido en la Gráfica 5-1 = 18 min = 1080 s

$$v = \frac{136.08 \text{ m}}{1080 \text{ s}}$$

$$v = 0.126 \text{ m/s}$$

Floculador 2:

$$N = \frac{L}{P_e}$$

$$L = N * 2.417$$

$$L = 56 * 2.417 \text{ m}$$

$$L = 135.35 \text{ m}$$

$$v = \frac{L}{t}$$

$t =$ Tiempo de retención 2 obtenido en la Gráfica 5-2 = 25 min = 1500 s

$$v = \frac{136.08 \text{ m}}{1500 \text{ s}}$$

$$v = 0.09023 \text{ m/s}$$

5.3.2. Tiempo de formación del flóculo.

El tiempo de formación del flóculo está dada por la Ec 4-4:

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

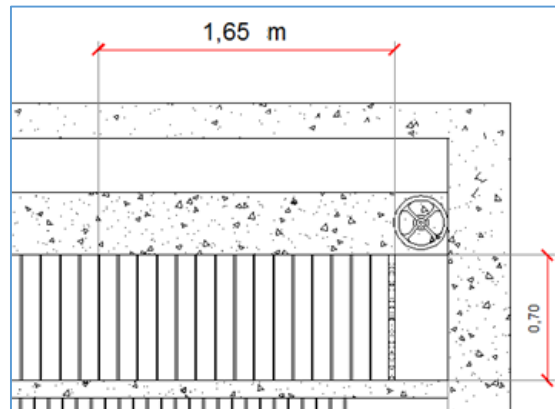
Floculador 1:

Figura 5-6. Distancia de formación de los primeros flóculos (floculador 1 vista superior).

Determinación del Caudal:

Siguiendo con la metodología se determinó el caudal de formación de flóculo

$$Q = 15.405 \text{ lt/s} = 0.015405 \text{ m}^3/\text{s}$$

Calculo del Volumen.

$$V = A * P * x \quad \text{Ec. 5-1.}$$

A= Ancho del floculador.

P= Profundidad del floculador.

X= Distancia en el floculador donde se determinó los primeros flóculos.

$$V = 0.70 \text{ m} * 2.60 \text{ m} * 1.65 \text{ m}$$

$$V = 3.003 \text{ m}^3$$

$$T_p = \frac{3.003 \text{ m}^3}{0.01540 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$T_p = 195 \text{ s} = 3.25 \text{ min}$$

Floculador 2 :

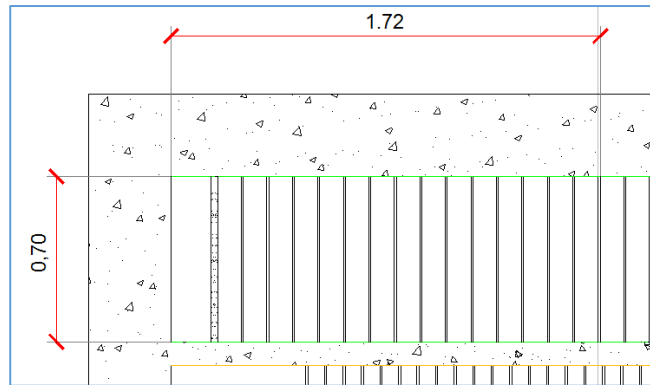


Figura 5-7. Distancia de formación de los primeros flóculos (floculador 2 vista superior).

FUENTE: AUTORES

$$V = 0.70 \text{ m} * 2.60 \text{ m} * 1.72 \text{ m}$$

$$V = 3.13 \text{ m}^3$$

$$T_p = \frac{3.13 \text{ m}^3}{0.01540 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$T_p = 203.25 \text{ s} = 3.38 \text{ min.}$$

5.3.3. Caudal de operación de los floculadores.

Se realizaron dos evaluaciones del caudal de operación, que son caudales con los que la planta de tratamiento generalmente trabaja durante un día de proceso. En el siguiente capítulo se evaluará la distribución del caudal de operación para cada módulo.

- Caudal de 11.21 l/s (caudal registrado en la tabla 5-2 de caudal de operación)

NUMERO DE TUBO	FLOCULADOR 1	FLOCULADOR 2
	CAUDAL (l/min)	
1	21,6	58
2	84	87,6
3	41,4	42,6
4	18,6	31,5
5	41,4	50,58
6	9,2	30
7	15,2	60
8	2	37,5
TOTAL	233,4	397,78
CAUDAL EN l/s	3,89	6,63

Tabla5-4A. Caudal de operación 10,52 l/s

- Caudal de 8,38 l/s (caudal registrado en la tabla 5-2 de caudal de operación)

	FLOCULADOR 1	FLOCULADOR 2
NUMERO DE TUBO	CAUDAL (l/min)	
1	25,2	46,6
2	59,4	75,12
3	29,2	36
4	18,4	21,36
5	23,2	34,8
6	5,6	15,9
7	5,6	38,4
8	0	28,2
TOTAL	166,6	296,38
CAUDAL EN l/s	2,78	4,94

Tabla5-4B. Caudal de operación 7,74 l/s

5.3.4. Tiempo de retención de la unidad de floculación.

Cálculo de la cantidad de trazador.

Para el cálculo de la cantidad de trazador se utilizó la Ec. 4-13.

$$P = \frac{V \times K \times C_0}{I \times 10^3}$$

Calculo del Volumen útil del floculador.

$$V = L * A * P$$

Ec. 5-2.

L= Largo del Floculador.

A= Ancho del Floculador.

P= Profundidad o calado del Floculador.

$$V = 7m * 0.7 m * 2.6 m$$

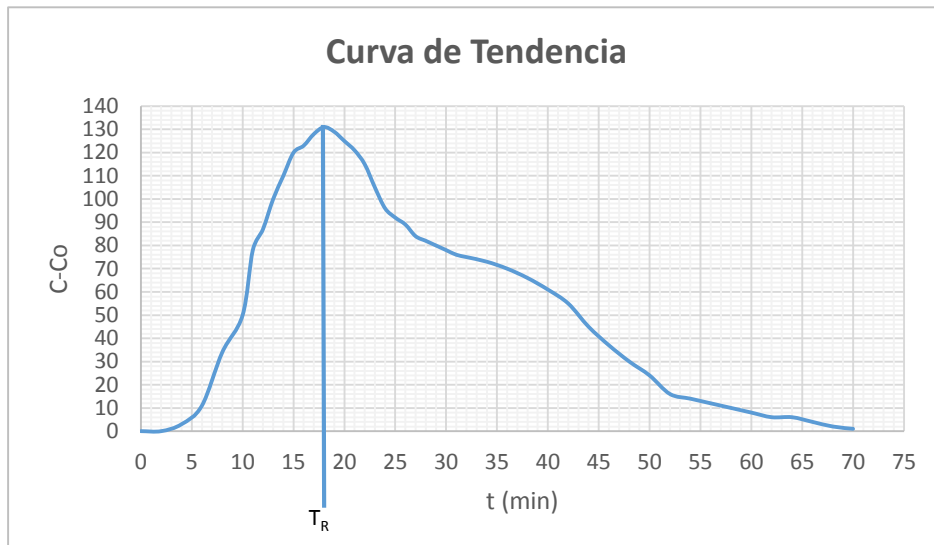
$$V = 12.74 m^3$$

Se utilizó Cloruro de Sodio (NaCl) con una pureza del 90% como trazador, con una concentración C_0 de 50 mg/l.

$$P = \frac{12.73 m^3 \times 1.65 \times 50 \text{ mg/l}}{0.9 \times 10^3} = 1.167 \text{ kg}$$

Después del ensayo con trazadores, obtenemos las Curvas de Análisis de Tiempo de Residencia para cada Floculador.

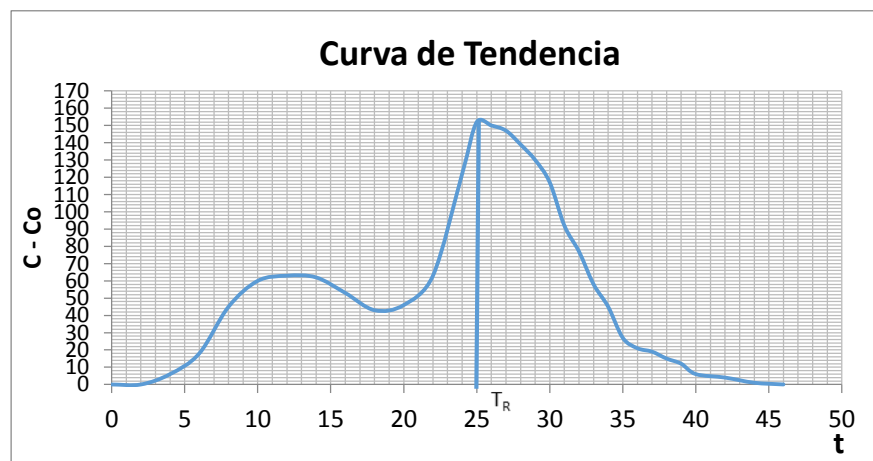
FLOCULADOR 1:



Gráfica 5-1: Curva de tendencia para determinar el tiempo de residencia del floculador 1.

- **Tiempo de retención real Floculador 1= 18 min**

FLOCULADOR 2:



Gráfica 5-2: Curva de tendencia para determinar el tiempo de residencia del floculador 2.

- **Tiempo de retención real Floculador 2= 25 min.**

Se considera una distribución no equitativa de los caudales, para cada módulo de floculación

5.3.5. Intensidad de floculación o gradientes de velocidad en la unidad.

Para la intensidad de floculación se tomó la Ec. 4-2.

$$G = \sqrt{\gamma/\mu} * \sqrt{\frac{H}{T_R}}$$

FLOCULADOR 1:

- Temperatura: 15 °C

$$\sqrt{\gamma/\mu} = 2920$$

- Tiempo de Retención:

$$T_R = 18 \text{ min} = 1080 \text{ s}$$

Determinación de la Pérdida de Carga:

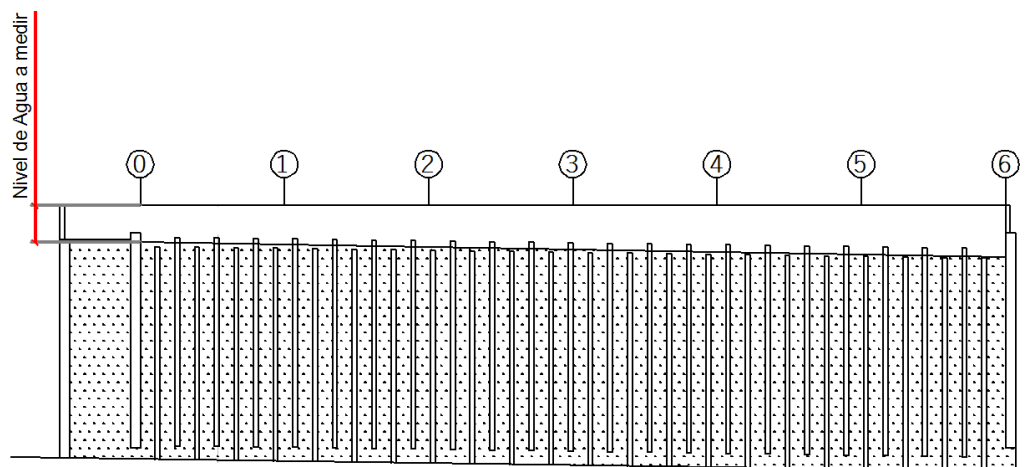


Figura. 5-9. Determinación de la pérdida de carga floculador 1 (vista lateral).

Pérdida de Carga por diferencia de nivel de Agua							
Sector	Inicio	1	2	3	4	5	6
Nivel de Agua(cm)	27	32	34.5	35	37.8	40	45

Tabla 5-5. Pérdida de carga por diferencia de nivel de agua (floculador 1)

FUENTE: Autores

$$H = \text{Nivel de Agua P6} - \text{Nivel de Agua Inicio}$$

$$H = 45 \text{ cm} - 27 \text{ cm} = 18 \text{ cm}$$

$$\bullet G = 2920 * \sqrt{\frac{0.18 \text{ m}}{1080 \text{ s}}}$$

$$G = 37.69 \text{ s}^{-1}$$

FLOCULADOR 2:

- Temperatura: 17 °C

$$\sqrt{\gamma/\mu} = 2998$$

- Tiempo de Retención:

$$T_R = 25 \text{ min} = 1500 \text{ s}$$

Determinación de la Pérdida de Carga:

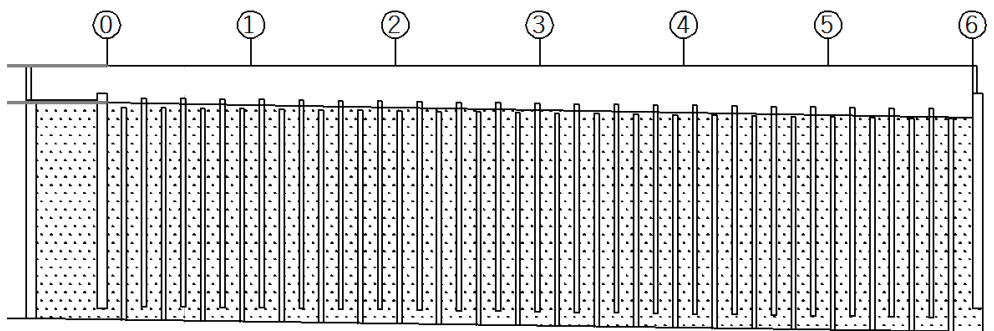


Figura. 5-10. Determinación de la pérdida de carga floculador 2 (vista lateral).

Pérdida de Carga por diferencia de nivel de Agua							
Sector	Inicio	1	2	3	4	5	6
Nivel de Agua(cm)	25.5	27	32	36.6	39.7	42.8	44.8

Tabla 5-4. Pérdida de carga por diferencia de nivel de agua (floculador 2)

FUENTE: Autores

$$H = \text{Nivel de Agua P6} - \text{Nivel de Agua Inicio}$$

$$H = 43.8 \text{ cm} - 26.5 \text{ cm} = 19.3 \text{ cm}$$

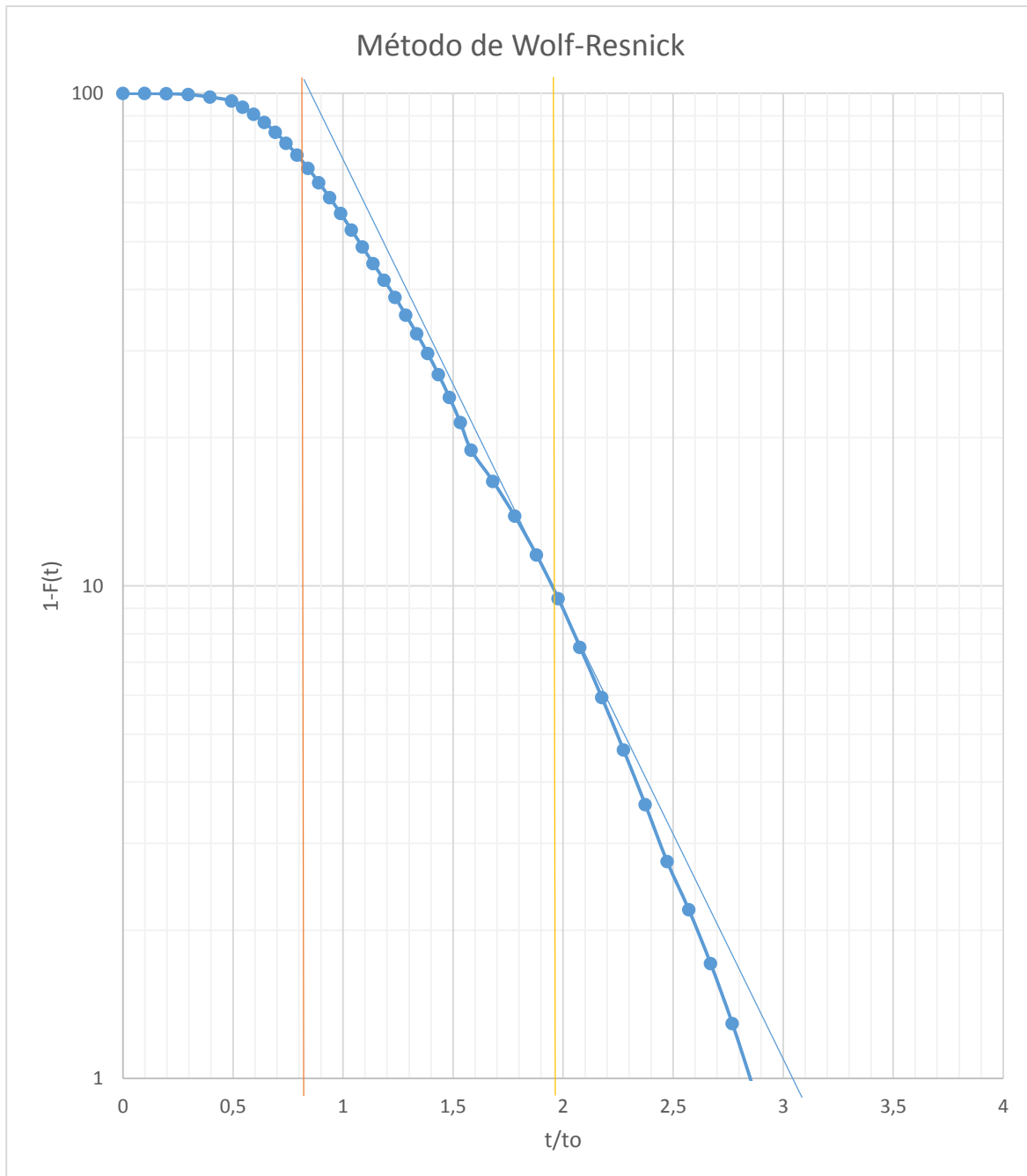
$$\bullet G = 2998 * \sqrt{\frac{0.193 \text{ m}}{1500 \text{ s}}}$$

$$G = 34,01 \text{ s}^{-1}$$

5.3.6. Características hidráulicas de la unidad: Tipo de flujo, espacios muertos y cortocircuitos

Análisis por el método de Wolf-Resnick para el Floculador 1.

Con los datos obtenidos en el ensayo de trazadores se obtuvo la tabla del análisis de Wolf- Resnick (ver Anexo 8), con los valores de la columna t/t_0 y $1-F(t)$, así se obtiene en una escala semilogartimica, la siguiente curva:



Gráfica 5-3. Método de Wolf-Resnick del floculador 1.

Del gráfico se obtienen los siguientes valores:

$$\theta = \frac{t_1}{t_0} = 0,8$$

$$\frac{t_2}{t_0} = 1,9$$

En el proceso se utilizaron la Ec. 4-23.

$$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{t_2}{t_0} - \frac{t_1}{t_0}} = \frac{1}{1,9 - 0,8} = \mathbf{0,91}$$

Calculamos en porcentaje de **Flujo Pistón**.

$$p = \frac{\theta \tan \alpha}{0,435 + \theta \tan \alpha} = \frac{0,8 * 0,91}{0,435 + (0,8 * 0,91)}$$

$$\mathbf{p = 0,61 \rightarrow 61\%}$$

Calculamos el porcentaje de **Flujo Mezclado**.

$$M = 1 - p = 1 - 0,61$$

$$\mathbf{M = 0,39 \rightarrow 39\%}$$

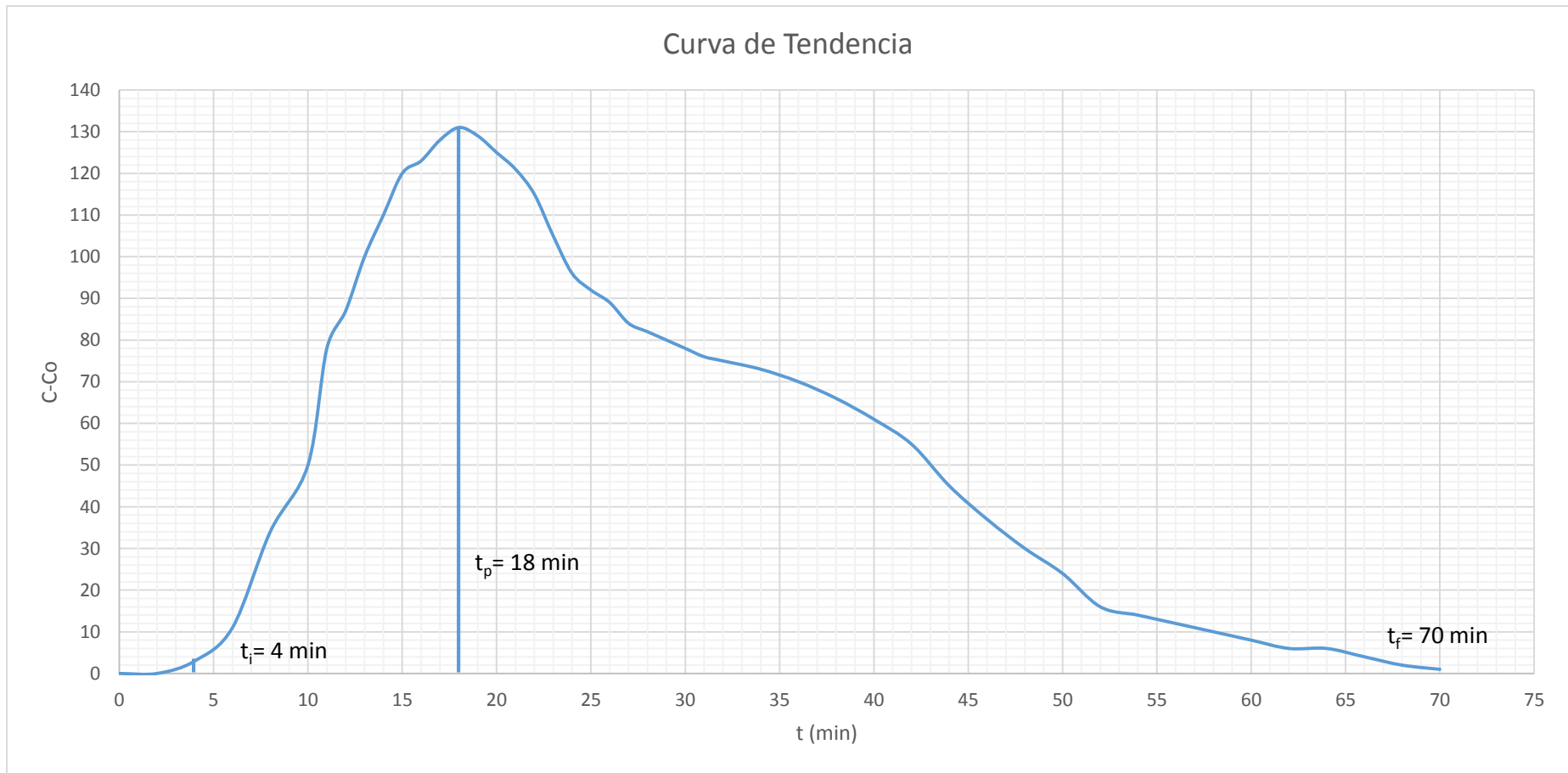
Calculamos el porcentaje de **Espacios Muertos**.

$$m = 1 - \frac{\theta}{p} = 1 - \frac{0,8}{0,61}$$

$$\mathbf{m = -0,31\% \approx 0\%}$$

Análisis por el método de la curva de tendencia para el Floculador 1.

Del ensayo de trazadores se graficaron los valores de t y C-Co en escala aritmética de la misma se levantó una curva y del análisis de esta se obtuvieron los siguientes datos.



Gráfica 5-4: Curva de tendencia para determinar tiempos de paso del coagulante en el floculador 1.

Calle Idrovo Leonardo Daniel
Zambrano Torres César Alfredo

t_i	t_{10}	t_p	t_m	t_o	t_{90}	t_f	C_o	C_p
4	12,4	18	21,71	20,22	39,47	70	30	170

Tabla 5-6. Tiempos de paso de coagulante (floculador 1)

Nota: los tiempos t_n están en minutos, las concentraciones C están en mg/l

Índice de Morrill para el Floculador 1.

Del ensayo de trazadores se graficaron los valores de $F(t)$ vs. T y se obtuvo la siguiente curva:

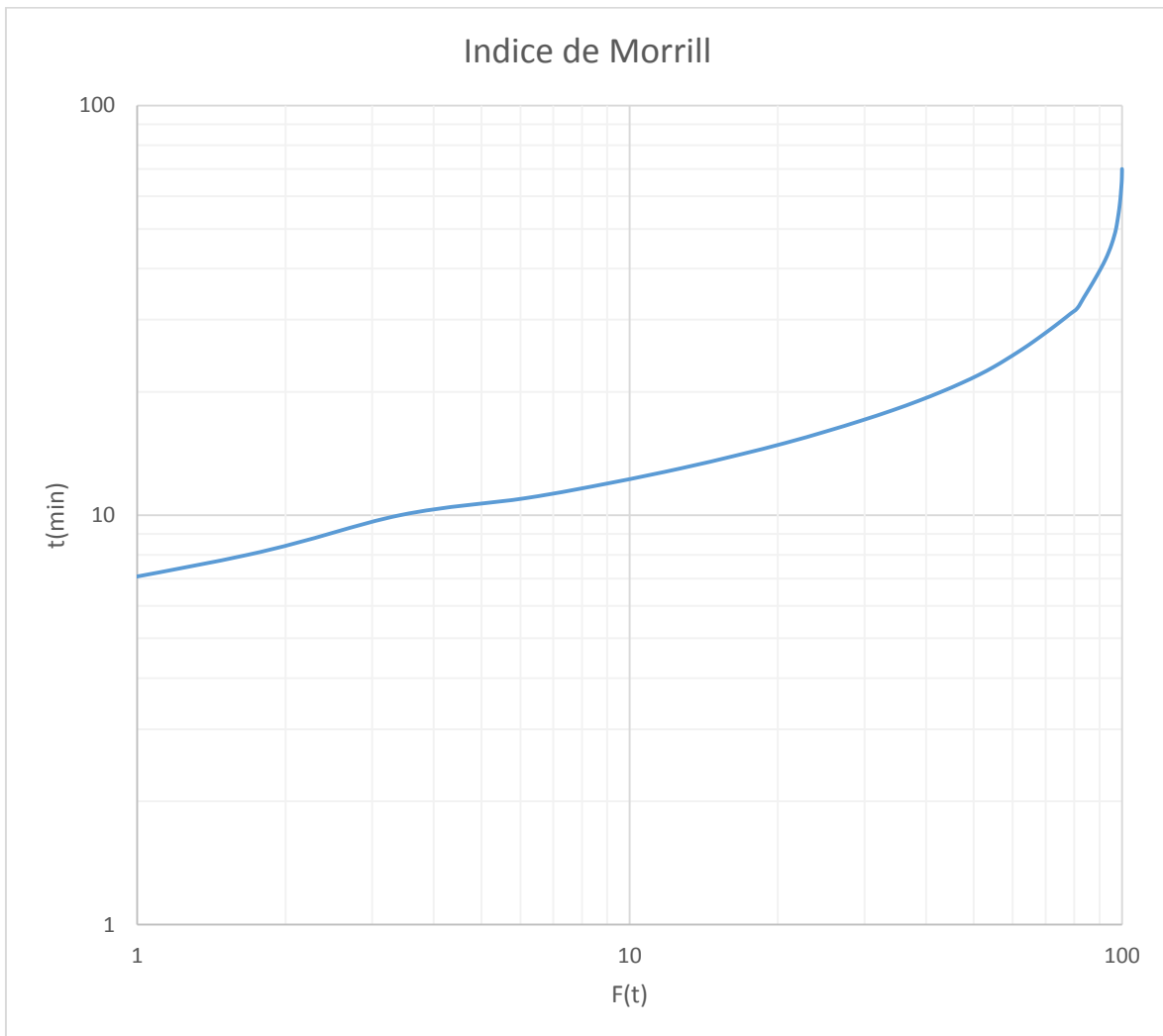


Figura. 5-5. Índice de Morrill del floculador 1.

De la curva se puede realizar el siguiente análisis:

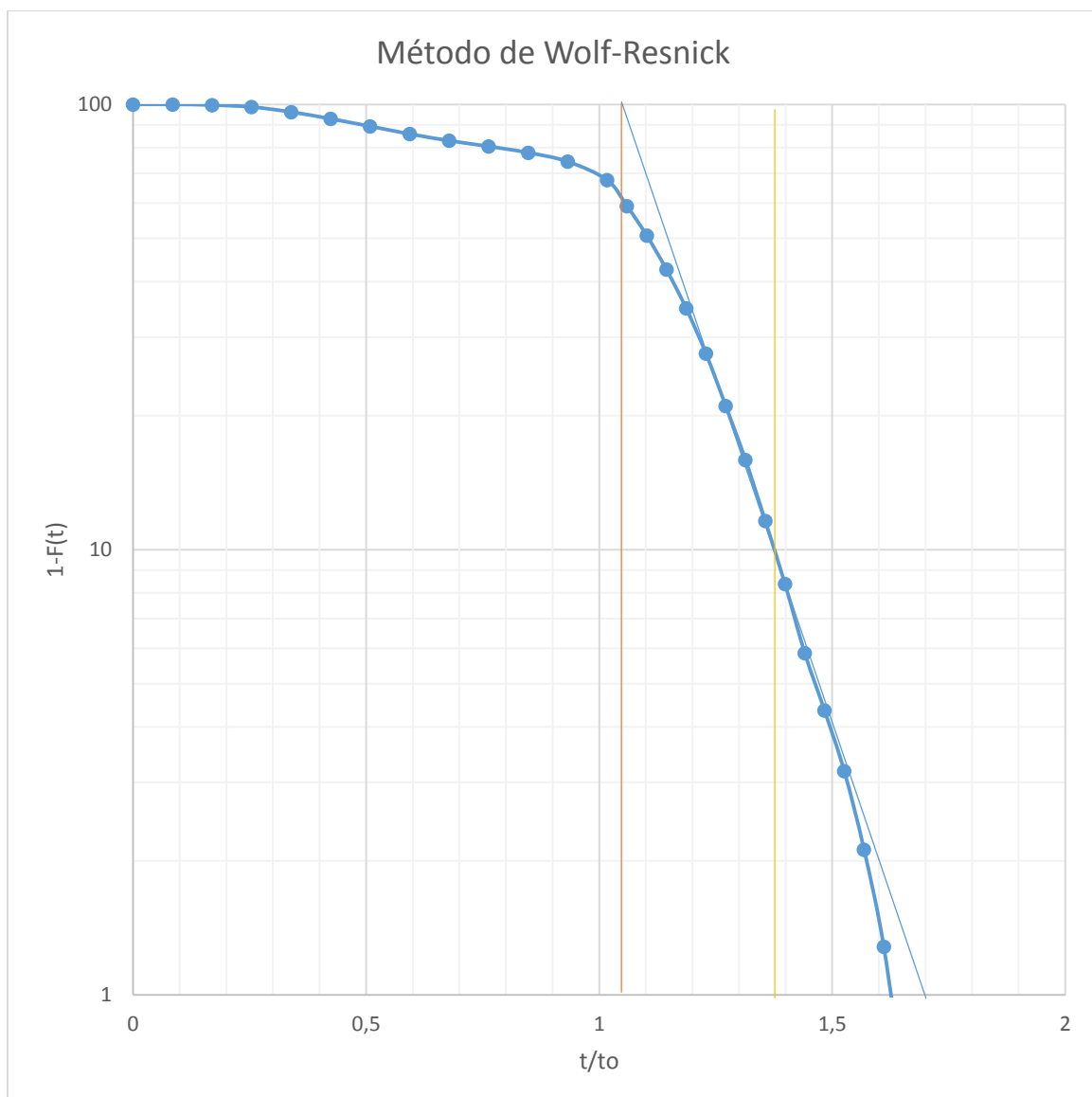
$$\text{Índice de Morrill} = \frac{\text{Tiempo en que pasa el 90\%}}{\text{Tiempo en que pasa el 10\%}}$$

$$\text{Indice de Morrill} = \frac{39,47}{12,24}$$

$$\text{Indice de Morrill} = 3,22$$

Análisis por el método de Wolf-Resnick para el Floculador 2.

Con los datos obtenidos en el ensayo de trazadores se obtuvo la tabla de análisis de Wolf- Resnick (ver Anexo 9), con los valores de t/t_0 y $1-F(t)$ se graficó en escala semilogarítmica, obteniéndose la siguiente curva.



Gráfica 5-6. Método de Wolf-Resnick del floculador 2.

Del gráfico se obtienen los siguientes valores:

$$\theta = \frac{t_1}{t_0} = 1,05$$

$$\frac{t_2}{t_0} = 1,39$$

En el proceso se utilizaron las Ec 4-23.

$$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{t_2}{t_0} - \frac{t_1}{t_0}} = \frac{1}{1,39 - 1,05} = \mathbf{2,94}$$

Calculamos en porcentaje de **Flujo Pistón**.

$$p = \frac{\theta \tan \alpha}{0,435 + \theta \tan \alpha} = \frac{1,05 * 2,94}{0,435 + (1,05 * 2,94)}$$

$$\mathbf{p = 0,87 \rightarrow 87\%}$$

Calculamos el porcentaje de **Flujo Mezclado**.

$$M = 1 - p = 1 - 0,87$$

$$\mathbf{M = 0,13 \rightarrow 13\%}$$

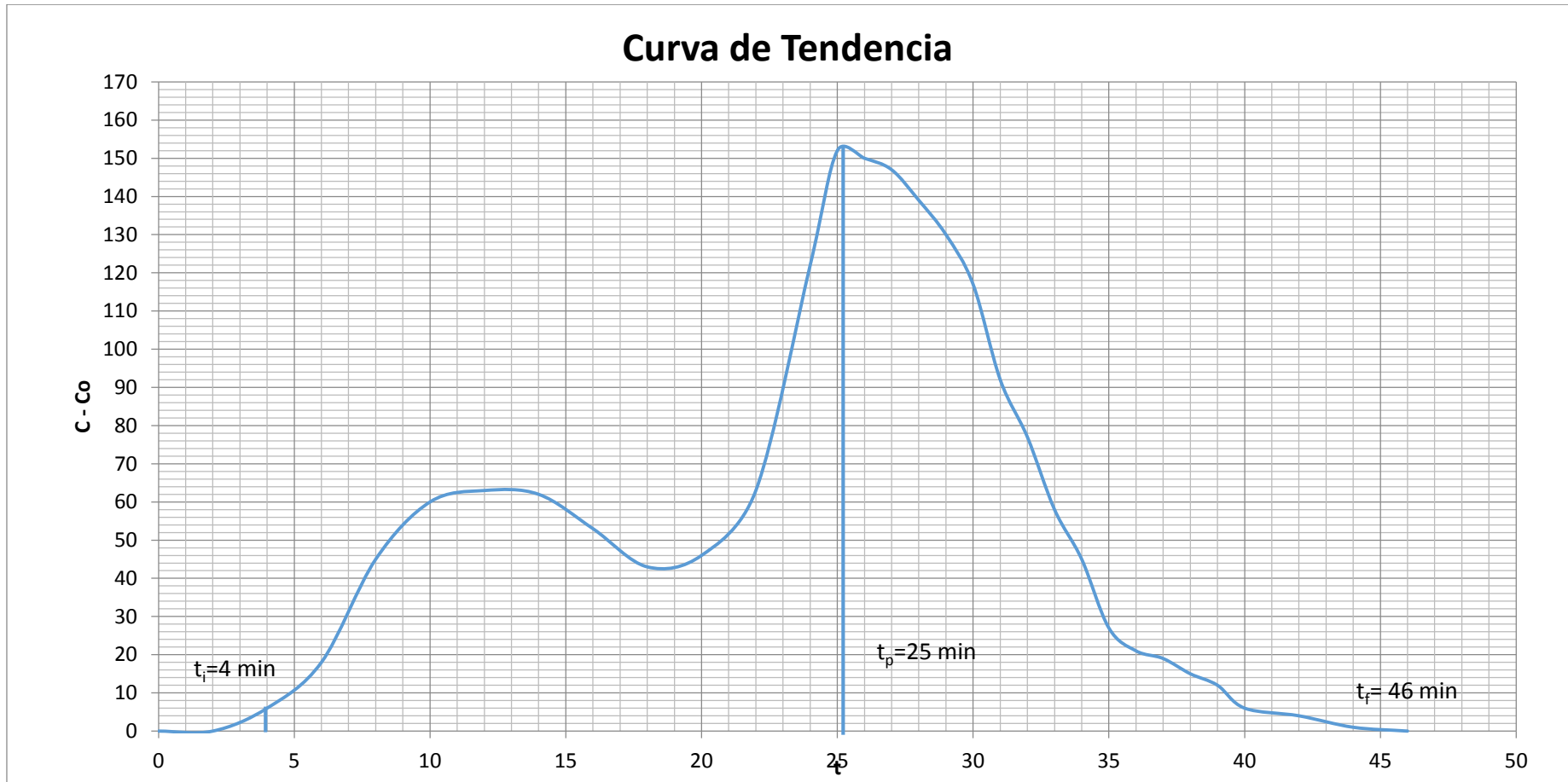
Calculamos el porcentaje de **Espacios Muertos**.

$$m = 1 - \frac{\theta}{p} = 1 - \frac{1,05}{0,87}$$

$$\mathbf{m = -0,20\% \approx 0\%}$$

Análisis por el método de la curva de tendencia para el Floculador 2.

Del ensayo de trazadores se graficaron los valores de t y C-Co en escala aritmética de la misma se levantó una curva y del análisis de esta se obtuvieron los siguientes datos.



Gráfica 5-7: Curva de tendencia para determinar tiempos de paso del coagulante en el floculador 2.

t_i	t_{10}	t_p	t_m	t_o	t_{90}	t_f	C_o	C_p
4	10,88	25	26,58	23,6	32,74	46	38	190

Tabla 5-8. Tiempos de paso de coagulante (floculador 2)

Nota: los tiempos t_n están en minutos, las concentraciones C están en mg/l

Índice de Morrill para el Floculador 2.

Del ensayo de trazadores se graficaron los valores de $F(t)$ vs. T y se obtuvo la siguiente curva:

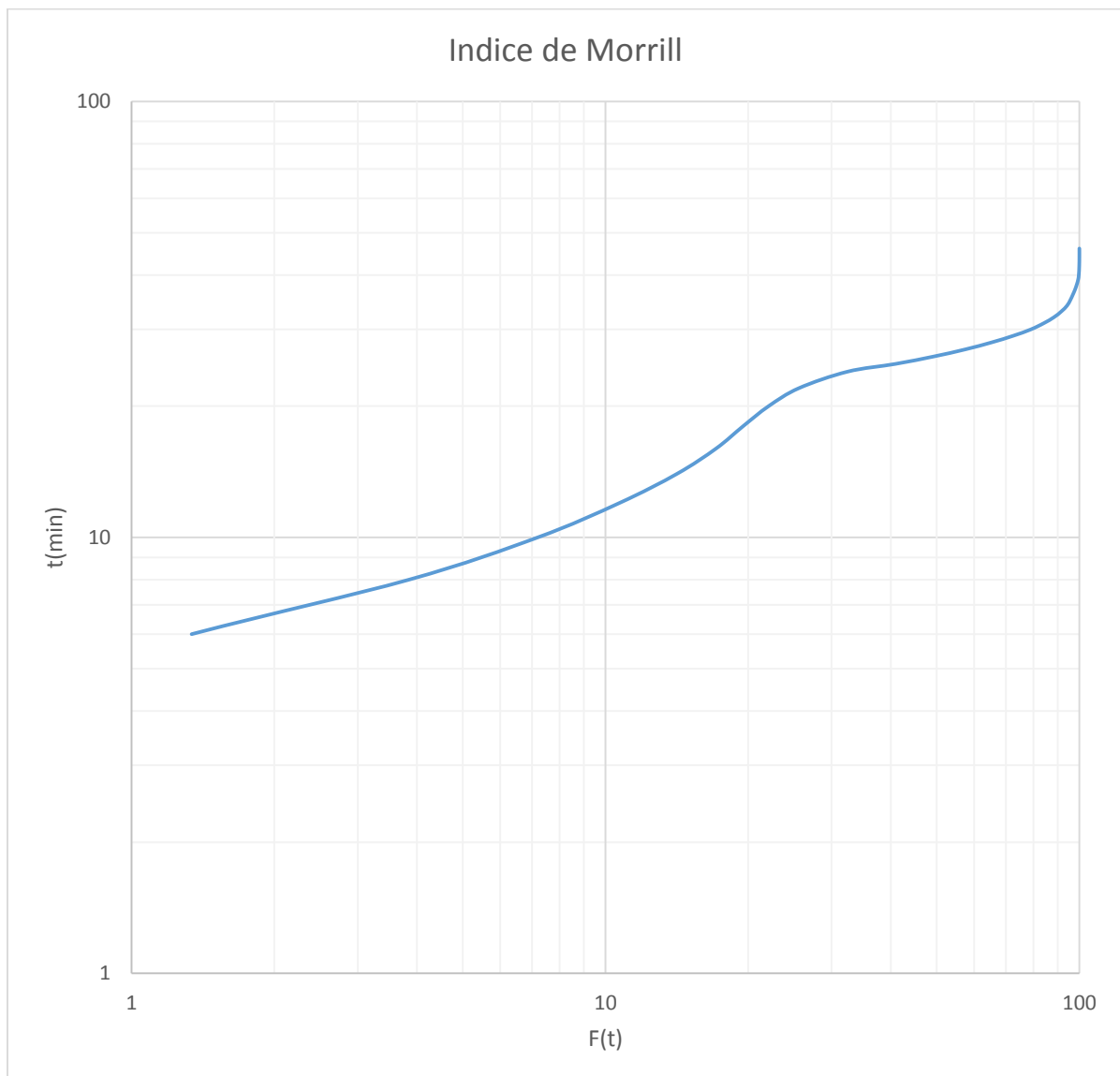


Figura. 5-8. Índice de Morrill del floculador 2.

De la curva se puede realizar el siguiente análisis:

$$\text{Indice de Morrill} = \frac{\text{Tiempo en que pasa el 90\%}}{\text{Tiempo en que pasa el 10\%}}$$

$$\text{Indice de Morrill} = \frac{32,74}{10,88}$$

$$\text{Indice de Morrill} = 3,009$$

Realizadas todas las evaluaciones, siguiendo las bibliografías pertinentes, se procederá en el siguiente capítulo, a analizar los resultados obtenidos, y realizar las correcciones si es necesario, para optimizar el proceso.

CAPÍTULO 6

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS, DISEÑO Y APLICACIÓN DE MEJORAS PARA LA OPTIMIZACIÓN.

6.1 ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DEL COAGULANTE.

6.1.1 Características del ayudante de Coagulación.

El coagulante es eficiente, óptimo para el proceso de coagulación, sin formación de grumos, permitiendo su dosificación. Estas conclusiones, se pueden verificar en el proceso en sí, de manera visual, con la formación de flóculo y características del mismo, así como por observación en el tanque de preparación de la sustancia coagulante.

6.1.2 Dosis óptima de coagulante.

Por un convenio, entre la Junta de Agua Potable de Bayas y EMAPAL, se pudo realizar ensayos de prueba de jarras para determinar la dosis óptima, y la construcción de la curva de dosificación de coagulante que se describe a continuación.

6.1.2.1 Obtención de la curva de dosificación.

La siguiente curva de dosificación de coagulante se la obtuvo mediante pruebas de jarras realizadas en EMAPAL, utilizando el agua cruda que llegaba a la planta potabilizadora de Bayas y que poseía diferentes valores de turbiedad.

Con los datos obtenidos en cada uno de los ensayos de jarras, se procedió a graficar la curva de dosificación con los respectivos ajustes que esta requiera, en la misma se relaciona la dosis de sulfato de aluminio a aplicar en la planta potabilizadora de Bayas en función de la turbiedad del agua de ingreso.

Esta gráfica fue ubicada en el laboratorio de Control de Calidad para que de esta manera pueda hacerse la correcta dosificación por parte del operador de turno en la planta. El proceso a seguir para la realización de las pruebas de jarras se lo describe en el Anexo 3, además los resultados de cada prueba de jarras están en el ANEXO 12.

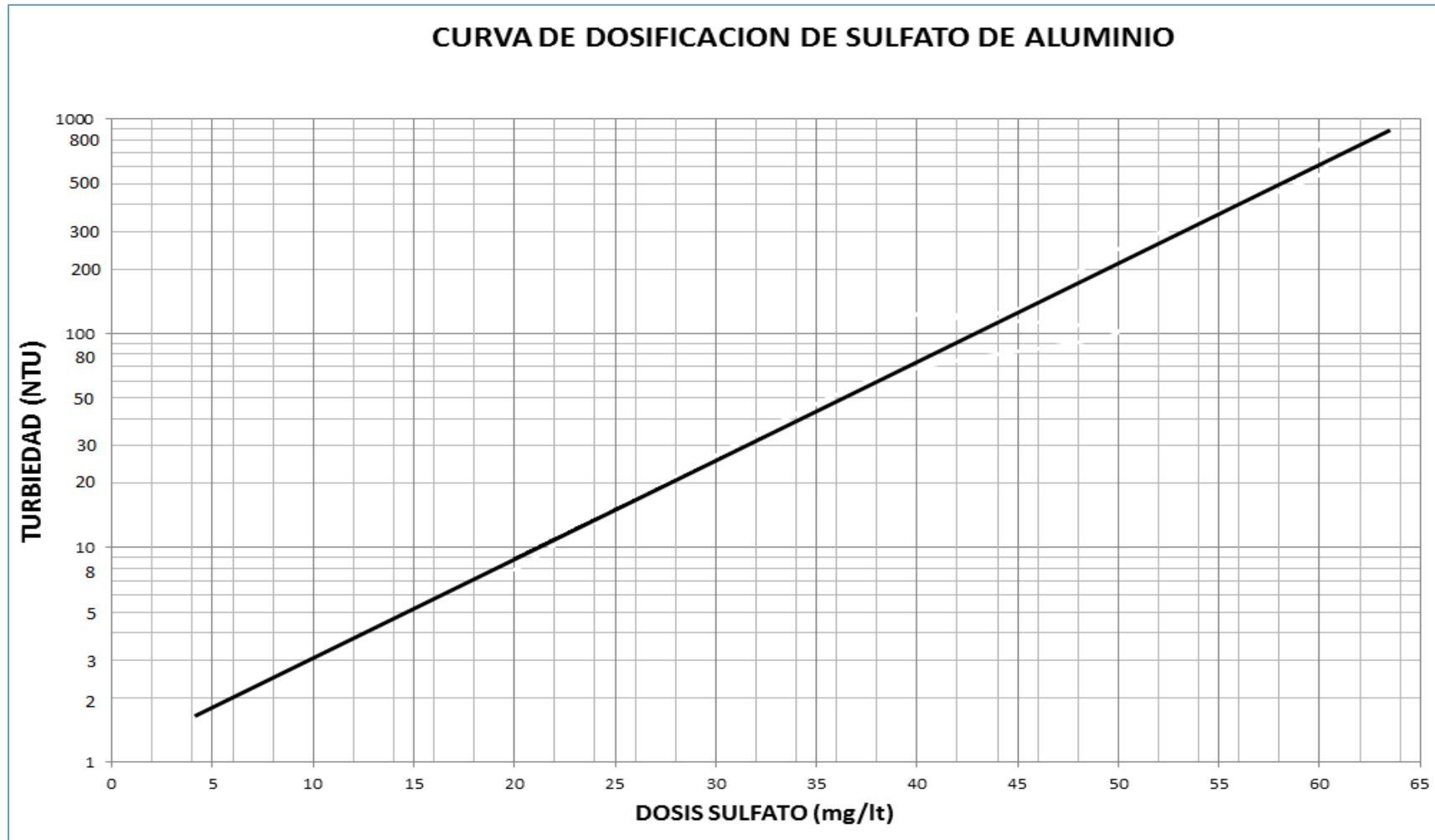


Gráfico 6-1. Curva de Dosificación de sulfato de aluminio.

Calle Idrovo Leonardo Daniel
Zambrano Torres César Alfredo

6.1.3 Análisis de las características de las unidades de dosificación.

A continuación se describe el diseño, construcción y calibración de un dosificador.

6.1.3.1 Diseño, construcción y calibración del equipo dosificador.

El equipo dosificador se diseñó en función de la capacidad necesaria para satisfacer las necesidades de la planta.

6.1.3.1.1 Cálculo de las dimensiones

Para poder aprovechar lo máximo del espacio, se determinó las siguientes dimensiones del equipo:

$$a = 0.65 \text{ m}$$

$$b = 0.40 \text{ m}$$

$$c = 0.50 \text{ m}$$

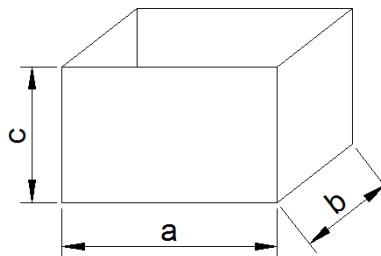


Figura. 6-1. Dimensiones del dosificador.

6.1.3.1.2 Orificios de entrada y salida de coagulante.

Los orificios para entrada y salida de coagulante fueron ubicados en el centro de las láminas laterales y a una distancia por calcular de sus bordes, para aprovechar la máxima capacidad del equipo, teniendo en cuenta el flotador en la entrada y el sistema de dosificación y accesorios para la salida.

6.1.3.1.3 Accesorios.

Válvula de Boya o Flotador: Esta válvula es ideal para la aplicación en estos tanques que requieren el llenado automático y constante **(1)**.

Válvulas de entrada y salida: Además para la entrada y salida de coagulante se dispuso de las conocidas “Válvulas de Bola”, la cuales estarán completamente abiertas para dejar

salir o entrar el coagulante, o completamente cerradas para evitar el llenado y salida de coagulante (2).

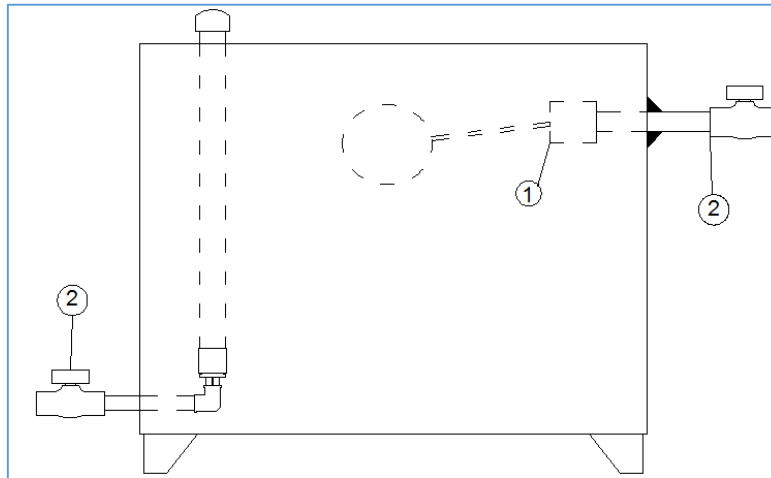


Figura 6-2. Accesorios del tanque dosificador.

6.1.3.1.4 Material para la fabricación.

Acero Inoxidable Mate 304

Características:

La aleación 304 es un acero inoxidable de uso general con una estructura cúbica de caras centradas. Es esencialmente no magnético en estado recocido y sólo puede endurecerse en frío. Su bajo contenido en carbono con otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras soldadas.

Se aplica generalmente en equipos que requieran resistencia a la corrosión como herramientas médicas y de cirugía, mangueras flexibles, partes de computadora, partes electrónicas, joyería, sellos, partes arquitectónicas y variedad de piezas estampadas. En nuestro caso se construyó en este material para evitar la corrosión del sulfato.

6.1.3.1.5 Volumen del dosificador

- **Volumen Teórico.**

Para el cálculo del volumen teórico, se tomó en cuenta que la distancia del orificio de entrada, al borde superior del equipo es de 0.10 m, en donde se instalará el flotador.



$$\text{Volumen } T = a * b * c$$

Ec. 6-1

$$\text{Volumen } T = 0.65 * 0.40 * 0.40$$

$$\text{Volumen } T = 0.104 \text{ m}^3 = 104 \text{ l}$$

- **Volumen Real.**

El volumen real será el que se dispone cuando el equipo se encuentre totalmente lleno, y la válvula está completamente cerrada.

Por experimentación, mediante aforo:

$$\text{Volumen Real} = 89 \text{ l}$$

El volumen real obtenido por aforo es menor al teórico, esto se debe al espacio que ocupa el flotador.

6.1.3.1.6 Sistema de dosificación.

Debido al presupuesto destinado para la fabricación del equipo, el sistema de dosificación se diseñó y se construyó técnicamente y de un material resistente a la corrosión que permitirá optimizar la dosificación (ver registro fotográfico ANEXO 15), a comparación de otros equipos dosificadores que contienen sistemas fabricados por casas comerciales, y que sus precios son altos y no entran en el presupuesto.

6.1.3.1.6.1 Accesorios

El sistema de dosificación constará:

- Un tubo de PVC roscado de media pulgada y con una ranura longitudinal de 1 mm **(1)** el mismo que está ilustrado en la figura 6-3A
- Un sistema roscado “hembra”, conectado a un tubo de una dimensión suficiente para poderlo controlar desde la parte superior del equipo **(2)**, se lo puede observar en la figura 6-3B.

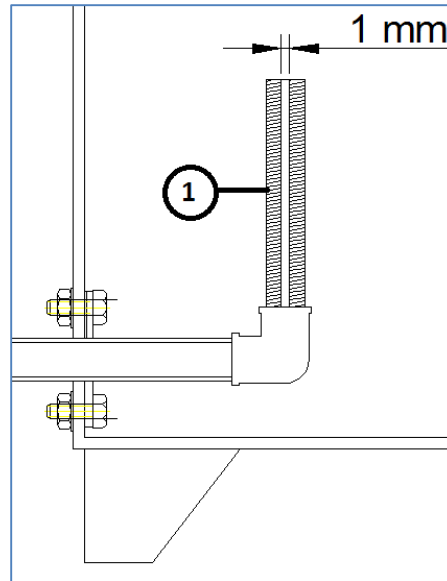


Figura. 6-3A. Sistema de dosificación (Vista lateral)

6.1.3.1.6.2. Funcionamiento

El funcionamiento del sistema de dosificación está maniobrado por un sistema roscable, conformado por las partes explicadas anteriormente. La función del sistema, será controlar de una manera sencilla y con una sensibilidad aceptable, el caudal de coagulante.

La ranura longitudinal del tubo roscado se determinó que sea de 1 mm de ancho y 150 mm de alto, después de varias pruebas e ir variando la dimensión de esta ranura, para obtener una sensibilidad alta del sistema, debido a que la planta funciona con caudales de agua cruda no superiores a 20 l/s, lo cual implica que los caudales de coagulante necesarios sean bajos.

El sistema de dosificación se regirá por el número de vueltas del accesorio (2) para la variación de caudal de coagulante. Dependiendo del número de vueltas dadas, se dejará libre la ranura, la cual permitirá el paso de coagulante. Aparte de la construcción del sistema, se realizó la calibración, con el número de vueltas permitidas frente al volumen de coagulante máximo que se obtiene para altas turbiedades. Para más exactitud con respecto

al volumen que se desea obtener, se calibró colocando al sistema roscado (2) con fracciones de vuelta. (Registro fotográfico de la calibración, ANEXO 15)

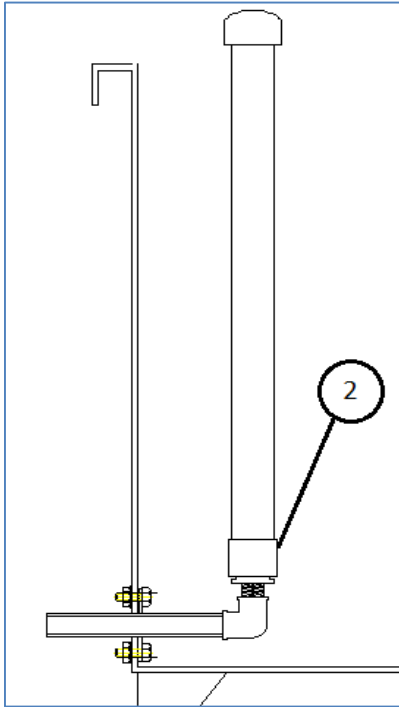


Figura. 6-3B. Sistema de dosificación (vista lateral)

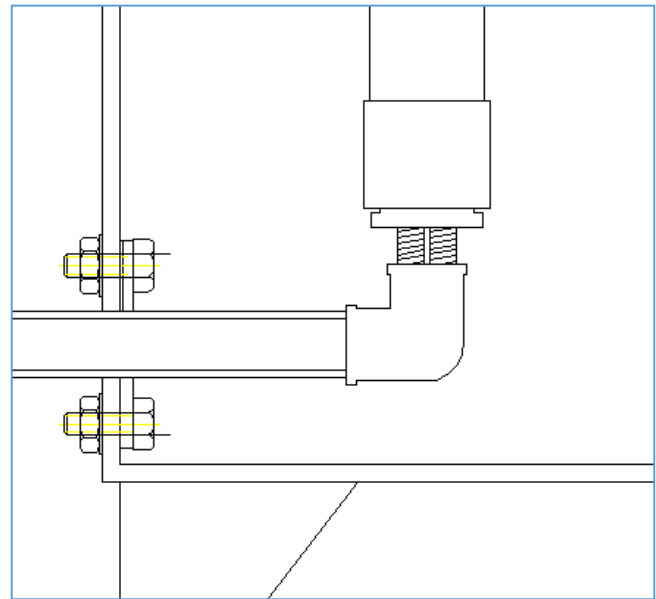


Figura. 6-3. Acercamiento sistema de dosificación (vista lateral)

6.1.3.1.7. Planos del Dosificador.

Los Planos del dosificador se encuentran detallados en el ANEXO 10.

6.1.3.1.8. Determinación de los caudales de operación del dosificador.

Primeramente, se procedió a instalarlo de una manera temporal, con conexiones derivadas de las conexiones principales, hasta la finalización de la determinación. Esta se realizó, con un aforamiento del caudal, dependiendo del número de vueltas que se dé al sistema roscado (2), ver figura 6-3B, es decir, a la abertura libre que dé el paso al volumen de coagulante.

Para confianza de la determinación, se la realizó 3 veces, así, asegurándose la veracidad de los caudales encontrados. A continuación se detalla la tabla de la calibración del equipo dosificador, expresado en cm^3/min .

CAUDALES DE OPERACION DEL DOSIFICADOR					
NRO DE VUELTAS	CAUDAL DE COAGULANTE	NRO DE VUELTAS	CAUDAL DE COAGULANTE	NRO DE VUELTAS	CAUDAL DE COAGULANTE
	cm ³ /min		cm ³ /min		cm ³ /min
¼	200	10 1/4	1560	20 1/4	2825
½	300	10 1/2	1570	20 1/2	2860
¾	350	10 3/4	1600	20 3/4	2885
1	400	11	1660	21	2920
1 1/4	440	11 1/4	1690	21 1/4	2965
1 1/2	460	11 1/2	1720	21 1/2	3010
1 3/4	470	11 3/4	1745	21 3/4	3055
2	520	12	1820	22	3090
2 1/4	550	12 1/4	1880	22 1/4	3130
2 1/2	580	12 1/2	1910	22 1/2	3175
2 3/4	620	12 3/4	1955	22 3/4	3220
3	640	13	2000	23	3260
3 1/4	675	13 1/4	2042,5	23 1/4	3300
3 1/2	710	13 1/2	2085	23 1/2	3345
3 3/4	745	13 3/4	2110	23 3/4	3390
4	780	14	2140	24	3430
4 1/4	815	14 1/4	2165	24 1/4	3480
4 1/2	850	14 1/2	2190	24 1/2	3515
4 3/4	885	14 3/4	2220	24 3/4	3560
5	920	15	2240	25	3600
5 1/4	955	15 1/4	2275	25 1/4	3640
5 1/2	990	15 1/2	2310	25 1/2	3680
5 3/4	1000	15 3/4	2340	25 3/4	3720
6	1100	16	2360	26	3760
6 1/4	1125	16 1/4	2395	26 1/4	3800
6 1/2	1150	16 1/2	2430	26 1/2	3840
6 3/4	1170	16 3/4	2465	26 3/4	3890
7	1200	17	2500	27	3920
7 1/4	1235	17 1/4	2520	27 1/4	3960
7 1/2	1250	17 1/2	2540	27 1/2	4000
7 3/4	1275	17 3/4	2560	27 3/4	4040
8	1300	18	2580	28	4080
8 1/4	1325	18 1/4	2610	28 1/4	4110



8 1/2	1350	18 1/2	2640	28 1/2	4160
8 3/4	1360	18 3/4	2670	28 3/4	4210
9	1400	19	2700	29	4240
9 1/4	1435	19 1/4	2725	29 1/4	4280
9 1/2	1470	19 1/2	2750	29 1/2	4315
9 3/4	1490	19 3/4	2775	29 3/4	4355
10	1540	20	2800	30	4390

Tabla. 6-1. Calibración del dosificador.

Esta tabla se implementará en el laboratorio de control de calidad para que esté al alcance de los operadores como parte del proceso de optimización del proceso de coagulación y floculación, el mismo que se conseguirá mediante la dosificación adecuada del sulfato usando esta tabla

6.2 ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN DE LA MEZCLA RÁPIDA.

6.2.1 Análisis de la geometría de la unidad.

Retirado el madero descrito anteriormente, se puede deducir que el vertedero rectangular es eficiente para el proceso de mezcla rápida.

6.2.2 Análisis de la determinación del tiempo de mezcla.

Analizando las recomendaciones dadas por la bibliografía seguida [3], donde se recomienda un tiempo de retención menor o alrededor a 1 segundo, se procede a eliminar el madero, para optimizar el tiempo de mezcla ya que se verificó la eficiencia del proceso al quitar el mismo con trabajo en la planta.

6.2.3 Análisis de la determinación de la intensidad de la mezcla.

Aplicando la Ec. 4-2, apartado 5.2.3, se obtuvo un valor de gradiente de velocidad de $990,21 \text{ s}^{-1}$ lo que nos indica que este valor está dentro del rango de gradiente de velocidad para el mezclador con resalto hidráulico, según la bibliografía pertinente [3], da valores óptimos de $\approx 1000 \text{ s}^{-1}$. Además otros autores [12], da rangos de 1000 a 2000 s^{-1} . Así se puede concluir, la eficiencia del mezclador para obtener una intensidad de mezcla óptima.

6.2.4 Análisis de la evaluación del caudal de operación para un vertedero rectangular.



Analizando la tabla registrada de caudales para diferentes alturas (Anexo 6), se verificó caudales erróneos, debido a un incorrecto dato de ancho del canal, lo que genera errores aproximados a 1.2 litros en los caudales con que realmente trabaja la planta.

En el apartado 5.2.4 del capítulo 5 se muestra la tabla corregida de valores de caudales en función de la altura de agua en el vertedero.

Esta tabla de caudal se implementó en el laboratorio para optimizar la dosificación adecuada del sulfato.

6.3 ANÁLISIS DE LA EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FLOCULACIÓN.

6.3.1 Análisis de la geometría de las unidades.

Como se puede apreciar en la figura 5-5, las pantallas no presentan deformaciones o fisuras, lo que puede garantizar un correcto funcionamiento de las mismas, soportando la presión de agua, y una inexistencia de fugas entre pantallas.

Además, mediante el cálculo del número de compartimiento o baffles, se determinó que el número para esta planta es de 56 compartimientos, y comparando con el conteo realizado visualmente, el número no difiere de más de 2 compartimientos. Esta evaluación fue realizada para la velocidad para la que fue diseñada la planta, con la capacidad de 20 l/s. Como esta descrito en el apartado, se evaluó las velocidades para los caudales frecuentes con los que se trabaja la planta, teniendo una disminución de velocidades en los dos floculadores, que están por debajo del rango recomendado de 0.15 m/s – 0.5 m/s, lo que se podría recomendar trabajar con un caudal de operación mayor a 15 l/s, lo más cerca posible al caudal de diseño de la planta que es de 20 l/s.

6.3.2 Análisis del caudal de operación de los floculadores.

Analizando los resultados obtenidos, podemos describir que:

- Primeramente, obtenidos los caudales para cada floculador, en la sumatoria del floculador 1 y 2, es decir el caudal total de operación, se verifica la existencia de un error con respecto al caudal teórico registrado en tabla 5-2. El error promedio de las evaluaciones es de 0.7 l/s, el cual por la metodología utilizada, se puede considerar

un error de medición, el cual pasaremos por inadvertido, debido a la proximidad del dato de caudal total obtenido con el dato de caudal registrado.

- El aspecto más relevante, se considera la distribución no equitativa de los caudales, para cada módulo de floculación. Se determinó una mayor carga de agua en el floculador 2, debido al paso directo que existe de agua cruda a la entrada del floculador, a comparación del paso a la entrada del floculador 1 (Figura 6-4). Con lo que podemos concluir, como un error de proceso, al no darse una igual distribución de caudal, se ve afectado el proceso de floculación ya que se altera el tiempo de retención, el gradiente, etc.

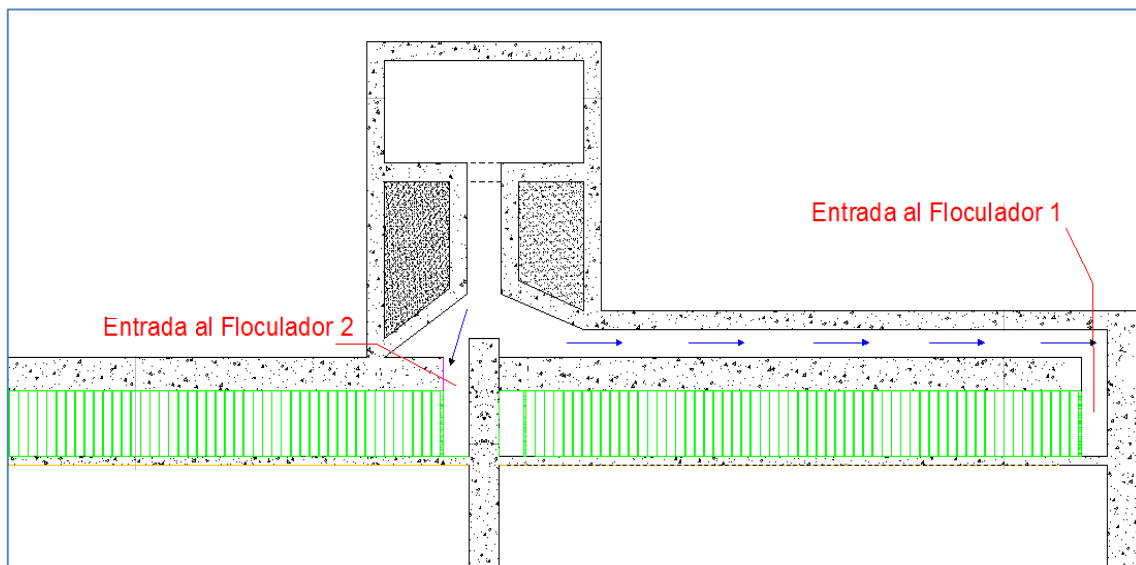


Figura. 6-4. Entradas a los floculadores. (vista superior)

De esta evaluación, se determina la necesidad de igualar el caudal de agua para cada floculador, mediante el diseño y construcción de compuertas reguladoras, que se detalla a continuación.

6.3.2.1 Diseño y construcción de las compuertas reguladoras de caudal.

Estas compuertas estarán en función de las dimensiones de cada canal, sin embargo su diseño y funcionamiento serán los mismos (registro fotográfico ANEXO 15).

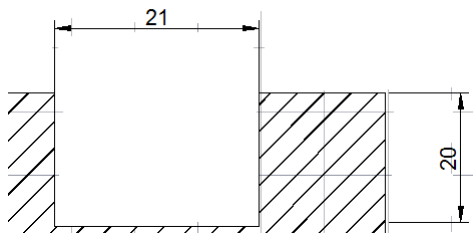
El tipo de compuertas seleccionadas para el diseño y fabricación, son las denominadas compuertas de tornillo sin fin, que son generalmente las más usadas para controlar caudales en este tipo de canales de estas plantas de tratamiento de agua.

6.3.2.1.1 Cálculo de las dimensiones de las compuertas

Las dimensiones de la placa de la compuerta van a definirse por la forma de la estructura del canal y sus paredes ya construidas.

Estas dimensiones serán las mismas del largo y ancho del canal.

Canal 1:

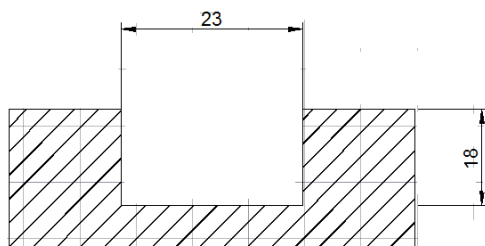


Largo de la Placa: 0.2 m

Ancho de la Placa: 0.21 m

Figura. 6-5A: Dimensiones del canal del floculador 1 (corte frontal)

Canal 2



Largo de la Placa: 0.18 m

Ancho de la Placa: 0.23 m

Figura. 6-5A: Dimensiones del canal del floculador 2 (corte frontal)

6.3.2.1.2. Material para la fabricación.



El material a utilizar fue el mismo que se ocupó para la fabricación del equipo dosificador (**Acero Inoxidable Mate 304**), por sus características, que están detalladas en el diseño del dosificador.

6.3.2.1.3. Planos de las Compuertas

Los planos de las compuertas están registrados en el ANEXO 11.

6.3.2.1.4. Validación de las Compuertas.

Ya colocadas las compuertas, en sus respectivos canales (Registro Fotográfico, ANEXO 15), se procedió a confirmar si las compuertas igualaran los caudales de los floculadores, tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Como se determinó en el análisis, el floculador 2 presenta una mayor carga de agua que el floculador 1, es por eso que se coordinará tener la compuerta del floculador 1 totalmente abierta, por ende, la única compuerta a calibrar será la del floculador 2, con el fin de igualar los caudales en cada módulo.

Procedimiento.

Se procedió a colocar la compuerta del floculador 2, a nivel de la superficie de agua, calculamos la distancia de la compuerta a la base del canal como se indica en la figura 6-6, determinada dicha medida, se procedió a realizar la calibración, reduciendo el nivel de la compuerta 1 cm, es decir por experimentación bajando 3.5 vueltas del tornillo sin fin, una vez bajada la compuerta esa altura (1 cm), se procedió a medir la distribución de caudales, para comprobar la igual repartición, se aforó en los tubos del sedimentador siguiendo la metodología del apartado 4.2.3.

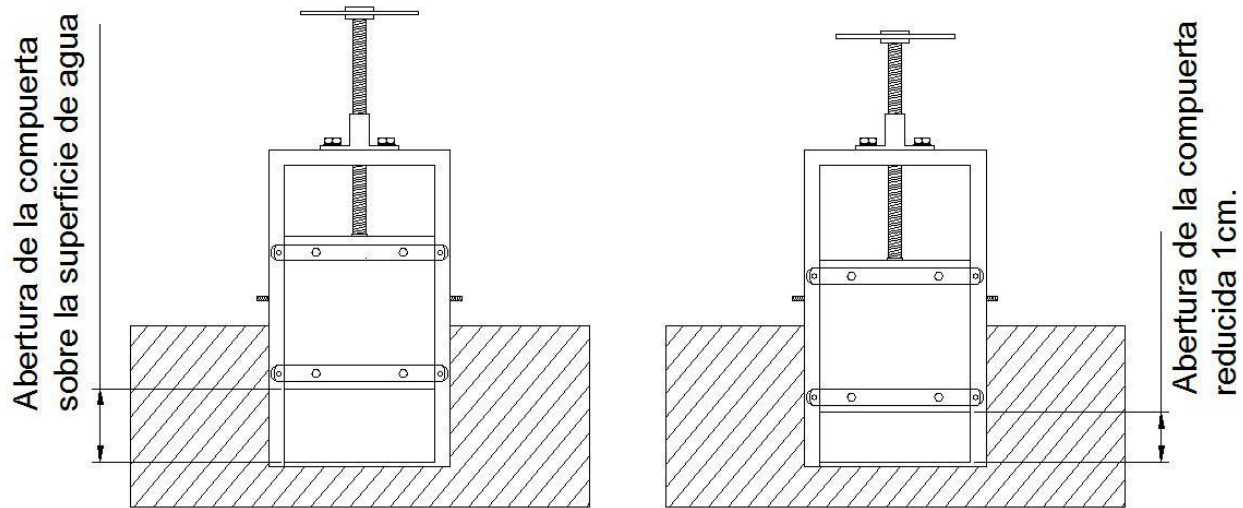


Figura 6-6. Procedimiento de calibración de las compuertas.

Descrito esto, se realizó experimentación con 2 caudales que generalmente se trabaja en la planta, y los resultados obtenidos fueron:

FLOCULADOR 2			
Caudal de entrada a la planta = 8,38 l/s			
NÚMERO DE TUBO	ABERTURA DE LA COMPUERTA(cm)		
	6,5	5,5	4,5
CAUDAL (l/min)			
1	52	38	35
2	75,12	70,8	63
3	36	34,8	32,16
4	21,36	21,6	16,8
5	34,8	33,36	30
6	15,9	13,5	15
7	38,4	37,2	34,2
8	26,4	23,4	19,8
TOTAL	299,98	272,66	245,96
CAUDAL EN l/s	5,00	4,54	4,10

Tabla 6-2A. Calibración de la compuerta 2.

FLOCULADOR 2				
Caudal de entrada a la planta = 11,21 l/s				
NÚMERO DE TUBO	ABERTURA DE LA COMPUERTA(cm)			
	9,5	8,5	7,5	6,5
	CAUDAL (l/min)			
1	58	54	46	42
2	87,6	78,36	79,08	70,8
3	42,6	42	40,8	36,6
4	31,5	30	29,1	25,8
5	50,58	48	46,8	41,4
6	34,2	26,76	22,2	22,8
7	60	62,4	53,4	54
8	37,5	33,6	30,48	27
TOTAL	401,98	375,12	347,86	320,4
CAUDAL EN l/s	6,70	6,25	5,80	5,34

Tabla 6-2B. Calibración de la compuerta 2.

Nota:

- Los caudales con los que se realizó las evaluaciones para la calibración, son los que consta en la nueva Tabla 5-2 donde están registrados los caudales de operación.
- El número de tubo, hace referencia al orden en que están dispuestas las tuberías en el sedimentador (ver registro fotográfico ANEXO 16).

Floculador 2 ; Caudal = 8.38 l/s			
Caudal =	5 l/s	4.54 l/s	4.10 l/s
Disminución de Caudal =	0.46 l/s	0.44 l/s	

Tabla 6-2C. Calibración de la compuerta 2.

Floculador 2 ; Caudal = 11.21 l/s				
Caudal=	6.70 l/s	6.25 l/s	5.80 l/s	5.34 l/s
Disminución de Caudal=	0.45 l/s	0.45 l/s	0.46 l/s	

Tabla 6-2D. Calibración de la compuerta 2.



Como se describe en las tablas 6-2C y 6-2D, la reducción promedio de caudal es de 0.45 l/s por cada centímetro que baje la compuerta, el mismo que se incrementará en el floculador 1. Por lo tanto es necesario encontrar la medida o número de vueltas a reducir en la compuerta del floculador 2, para poder igualar la carga de agua en los dos módulos de floculación.

A continuación, se desarrollará una ecuación matemática empírica para igualar el caudal de los dos módulos de floculación:

EL Caudal Total Q será igual:

$$Q = Q_{F1} + Q_{F2} \quad \text{Ec. 6-2}$$

Q_{F1} = Caudal del Floculador 1

Q_{F2} = Caudal del Floculador 2

Como se pudo observar en las tablas 5-4A y 5-4B del apartado 5.3.3 la diferencia de caudales entre los módulos de floculación, está entre 2.1 a 2.8 l/s, dependiendo del caudal total de operación con el que se trabaje, es decir, mientras el caudal de operación aumente, la diferencia también aumentará

A continuación, se desarrollará la deducción matemática para una diferencia ejemplo de 2.7 l/s. Por lo tanto, considerando este aspecto:

- $Q_{F2} - Q_{F1} = 2.7 \text{ l/s}$ Ec. 6-3

Despejando Q_{F1} , Q_{F2} de Ec. 6-3:

- $Q_{F1} = Q_{F2} - 2.7 \text{ l/s}$ Ec. 6-4

- $Q_{F2} = Q_{F1} + 2.7 \text{ l/s}$ Ec. 6-5

Reemplazamos Ec 6-4 en Ec. 6-2:

$$Q = Q_{F2} - 2.7 \text{ l/s} + Q_{F2}$$

$$Q = 2 Q_{F2} - 2.7 \text{ l/s}$$

$$Q_{F2} = \frac{Q^{-2.7} \text{ l/s}}{2} \quad \text{Ec. 6-6}$$

$$Q_{F2} = Q/2 - 1.35 \quad \text{Ec. 6-7}$$

Como se explicó anteriormente por experimentación:

Por cada centímetro que se reduce a la compuerta del Floculador 2, se disminuye el caudal en 0.45 l/s, los cuales pasan al otro floculador.

Es decir a la Ecuación 6-8 vamos a añadir 0.45 x; siendo x, los centímetros que se disminuyen en las compuertas.

$$Q_{F2} = Q/2 - 1.35 - 0.45 x \quad \text{Ec. 6-8}$$

Con la ecuación 6-5, realizamos el mismo procedimiento para obtener una ecuación en función de Q_{F1} . Pero en este caso, si disminuimos el caudal en el floculador 2, el caudal aumentará en el floculador 1 en este caso el 0.45x será una adición.

$$Q_{F1} = Q/2 + 1.35 + 0.45 x \quad \text{Ec. 6-9}$$

Consideraremos:

El objetivo de las compuertas es distribuir el caudal total que ingresa a la planta, en caudales iguales para cada floculador. Por lo tanto, lo que deseamos es:

$$Q_{F1} = Q_{F2} \quad \text{Ec. 6-10}$$

Reemplazando Ec. 6-8 y Ec. 6-9 en Ec. 6-10:

$$Q/2 - 1.35 - 0.45 x = Q/2 + 1.35 + 0.45 x$$

Suprimimos Q/2:

$$-1.35 - 0.45 x = 1.35 + 0.45 x \quad \text{Ec. 6-11}$$

Despejamos x de Ec. 6-11:

$$x = \frac{2.7 \text{ l/s}}{0.9 \text{ l/s}}$$

Ec. 6-12

$$x = 3 \text{ cm}$$

Se deduce una expresión 6-12, para poder determinar la medida a disminuir de la compuerta del floculador 2, dependiendo de la diferencia de caudal en cada módulo de floculación.

Descrito esto obtenemos la tabla 6-3, con el número de centímetros, además del número de vueltas a disminuir para cada caudal de operación:

CAUDAL	DISMINUCIÓN APERTURA DE COMPUERTA FLOCULADOR 2	
	cm	NRO. VUELTAS
5	2	7
6	2	7
7	2,3	8
8	2,6	9
9	2,6	9
10	2,6	9
11	2,9	10
12	2,9	10
13	3,1	11
14	3,1	11
15	3,4	12
16	3,4	12
17	3,4	12
18	3,7	13
19	4	14
20	4	14

Tabla 6-3.

Disminución de la apertura de la compuerta en el floculador 2



6.3.3. Análisis del tiempo de formación del flóculo.

Con los resultados del tiempo de formación de flóculo:

Tiempo de Formación Floculador 1: 3.25 min

Tiempo de Formación Floculador 2: 3.38 min

Se puede concluir que son tiempos muy cercanos en cada unidad, además que en función del tiempo de retención de los floculadores, están dentro del tiempo total del proceso de floculación.

Ya que, el proceso de formación de flóculo, inicia en el instante de la adición de coagulante, pero para la apreciación visual se necesita que dichos “microflóculos”, se unan, esta evaluación en sí, no analizamos el instante de la formación de flóculos, sino el tiempo en el que los flóculos se lograron distinguir visualmente el mismo que fue de 3.25 min, analizando que, dentro de 20 min que es un promedio del tiempo total que dura el proceso de floculación, es un tiempo óptimo y suficiente que para el resto de proceso, se pueda seguir formando un flóculo con el tamaño y características deseadas.

6.3.4. Análisis del tiempo de retención de la unidad de floculación.

Obtenidos los resultados de la evaluación del tiempo de retención, procedemos analizar entre el tiempo teórico y el tiempo real obtenido mediante trazadores de ambas unidades de floculación.

Floculador 1:

Tiempo Teórico: 20,22 min.

Tiempo Real: 18 min.

Floculador 2:

Tiempo Teórico: 23,6 min.



Tiempo Real: 25 min.

Tanto en el floculador 1 como en el floculador 2, los tiempos de retención reales son cercanos a los tiempos teóricos, el tiempo de retención real será en el cual se exprese la mayor concentración de la sustancia trazadora. Por lo tanto en el floculador 2 se tarda más en llegar a un valor máximo de concentración de trazador en comparación al floculador 1 debido a factores que imposibilitan la estabilidad de las condiciones del flujo que se evaluaron en las condiciones hidráulicas de las unidades de floculación real.

6.3.5. Análisis de la intensidad de floculación o gradientes de velocidad en la unidad.

Obtenidos los valores de gradiente de velocidad:

- **Floculador 1=** $37,69 \text{ s}^{-1}$
- **Floculador 2=** $34,006 \text{ s}^{-1}$,

Se puede considerar a estos valores de gradientes, similares, y analizando según bibliografía pertinente [2], estos gradientes de velocidad, están dentro de los parámetros óptimos para los floculadores, que recomiendan a ser valores mayores a 20 s^{-1} . Concluyendo así la eficacia de la intensidad de floculación.

6.3.6. Análisis de las características hidráulicas de la unidad

6.3.6.1. Condiciones hidráulicas en el floculador 1

Mediante el análisis de Wolf Resnick se encontró que este módulo trabaja con flujo pistón en un porcentaje del 61% y el restante 39% corresponde a flujo mezclado, estos valores representan que hay un leve predominio de flujo pistón, lo que indica que hay una cantidad desconocida de lodo acumulado en el fondo del módulo, el valor de -0,31% de zona muerta, que indica que no existe espacios muertos dentro del floculador.

Analizando la curva de la Gráfica 5-4 podemos decir que se presenta una cola larga decreciente debido a remolinos o recirculaciones internas o por la presencia de zonas dentro del sistema que retienen el trazador y luego lo liberan paulatinamente.

A partir del momento en que aparece el trazador en el módulo ($t=4 \text{ min.}$), la concentración va aumentando progresivamente como es característico de un reactor real que presenta

una combinación de flujo pistón y mezcla completa hasta llegar a una mínima concentración de trazador ($t=70$ min) . Se puede observar que existe el pico de máxima concentración a los 18 min lo cual nos indica también que el trazador va a comenzar a salir del módulo.

FLOCULADOR 1		
Criterio	Valor	Análisis
$\frac{t_i}{t_o}$	0,19	Existe un paso directo del trazador entre la entrada y la salida del sistema e indica la presencia de flujo mezclado
$\frac{t_m}{t_o}$	1,07	Existen zonas de cortocircuitos aunque no son grandes debido a la proximidad del valor a la unidad.
$\frac{t_p}{t_o}$	0,89	Existe predominio de flujo pistón debido a la proximidad del valor a la unidad
$e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_i)}{t_o}$	1,87	Indica la presencia de flujo mezclado en el sistema, pero no predominante

Tabla 6-4A. Criterios de flujos (floculador 1)

Datos: Autores; Bibliografía: Manual III Evaluación de Plantas de tecnología Apropiada; CEPIS.

6.3.6.2. Condiciones hidráulicas en el floculador 2.

El floculador trabaja con un porcentaje flujo pistón del 87% y el restante 13% corresponde a flujo mezclado, estos valores representan que hay un predominio de flujo pistón, lo que indica que hay una cantidad desconocida de lodo acumulado en el fondo del módulo, el valor de -0,20% de zona muerta, que indica que no existe espacios muertos.

Analizando la curva de la Gráfica 5-5 podemos que se presentan dos campanas, esto se debe a la presencia de cortocircuitos en el módulo de floculación, debido al paso directo de trazador. Existe un porcentaje de 20 % de trazador según el índice de Morrill figura 5-8 que está pasando antes del tiempo de retención teórico.

A partir del momento en que aparece el trazador en el módulo ($t=4$ min.), la concentración va aumentando progresivamente como es característico de un reactor real que presenta una combinación de flujo pistón y mezcla completa hasta llegar a una mínima concentración de trazador ($t=46$ min).

Tabla

FLOCULADOR 2		
Criterio	Valor	Análisis
$\frac{t_i}{t_o}$	0,17	Existe un paso directo del trazador entre la entrada y la salida del sistema e indica la presencia de flujo mezclado
$\frac{t_m}{t_o}$	1,12	Existen zonas de cortocircuitos aunque no son grandes debido a la proximidad del valor a la unidad.
$\frac{t_p}{t_o}$	1,06	Existe predominio de flujo pistón debido a la proximidad del valor a la unidad
$e = \frac{(tf - tp) - (tp - ti)}{t_o}$	0	Indica la predominancia de flujo pistón en el sistema

6-4B.

Criterios de flujos (Floculador 2)

Datos: Autores; Bibliografía: Manual III Evaluación de Plantas de tecnología Apropiada; CEPIS.

En resumen, para finalizar este capítulo, es importante recalcar que hasta la fecha, todas las mejoras para la optimización han sido concluidas con éxito. El equipo dosificador y compuertas reguladoras de caudal, han sido instalados y calibrados, y su funcionamiento ha sido impartido a los operarios mediante capacitaciones (En el ANEXO 15, se encuentran imágenes de los equipos instalados, en funcionamiento en planta de tratamiento).

El madero que se encontraba colocado en el resalto hidráulico del vertedero, ha sido eliminado, para obtener un tiempo de mezcla menor. Además, ya realizado los ensayos para la determinación de la dosis óptima, la curva de dosificación está implementada en el laboratorio de calidad, junto con las tablas de las calibraciones realizadas, (figura 6.6).



Tablas ubicadas en el laboratorio de Calidad.

Descrito esto, y trabajado conjuntamente con los operarios, se puede decir, desde nuestra perspectiva y de los operarios, que el proceso de floculación y coagulación se ha convertido en un proceso más sencillo y eficaz.



CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1. CONCLUSIONES.

Viendo la necesidad de la evaluación y optimización de dichos procesos, el cual se propuso como objetivo general de este proyecto de tesis, y siendo desarrollado en este trabajo; podemos presentar las siguientes conclusiones:

- En cuanto a la geometría de las unidades, tanto para la coagulación, que cuenta con un vertedero rectangular, como para la floculación, en donde se tiene un floculador de flujo vertical; se concluye la correcta existencia de dichas unidades. En el caso del vertedero rectangular, la no presencia de grietas, no altera la formación del resalto hidráulico, además que sus dimensiones, están correctamente diseñadas para la capacidad de la planta y no existe desbordamiento por sus extremos superiores. Para el caso de los floculadores, como indica las bibliografías [2] y [11], la profundidad es el parámetro más importante dentro de las dimensiones, y el rango que recomiendan es de 2 a 3 m, para lo cual estos floculadores tienen una profundidad de 2.61 m. Además de las dimensiones, con la evaluación visual, se comprobó el correcto número de compartimientos y la no presencia de grietas ni deformaciones; y con estos parámetros se puede concluir el correcto diseño y funcionamiento de los floculadores.
- La dosis óptima de coagulante, se puede considerar uno de los aspectos más importantes para el desarrollo del proceso de coagulación y en sí el de floculación. El no tener determinado la dosis óptima para cada turbiedad, hace que el proceso se torne ineficiente, ya que al utilizar, curvas de dosificación de otras plantas de tratamiento, pueden presentar problemas ya que la calidad del agua cruda no son las mismas. Se obtuvo la curva de dosificación de coagulante, a partir de ensayos en el equipo de prueba de jarras de diferentes muestras de agua con diferentes



valores de los parámetros de Turbiedad y Color., lo que permitirá añadir la cantidad exacta de sulfato de aluminio, optimizando el proceso.

- Al no contar con un equipo de dosificación, la aplicación de la dosis para los operarios se torna complejo, existiendo la incertidumbre de añadir o no la dosis de coagulante necesario para cada turbiedad del agua cruda, provocando un exceso o carencia de coagulante, lo que causaba una ineficiencia en el proceso, además de un aumento de costos de operación, por el desperdicio de coagulante. Se diseñó e implementó el dosificador de coagulante (Sulfato de Aluminio) para evitar gasto de coagulante, optimizando el proceso de coagulación.
- En la evaluación del caudal de operación del mezclador, en este caso vertedero rectangular, como se describe en el trabajo de tesis, existía un error en la tabla de los caudales registrados, debido a un incorrecto dato de las dimensiones del vertedero. En este caso, con la nueva tabla de caudales de operación, se garantiza un correcto volumen de coagulante, ya que este está en función del caudal con el que se trabaje.
- En la evaluación del caudal de operación de los floculadores, también como se evalúa en el trabajo de tesis, no existía una distribución equitativa en los módulos de floculación. Se diseñó e implementó compuertas reguladoras de caudal en los canales de entrada de los floculadores, los mismos que permitirán una mejor distribución de caudales para cada uno de los módulos de floculación, optimizando el proceso de floculación y por ende procesos posteriores.
- El tiempo de mezcla rápida, estaba siendo influenciado con un madero (colocado sin criterio por los operadores de la planta), el cual era de 2.7 s, para lo cual analizado sin dicho madero, obtenemos un tiempo de mezcla de 1.1 s, que según el Manual de Evaluación de Plantas de tratamiento del CEPIS, recomiendan que se encuentre alrededor a 1s, por lo que podemos decir, el cumplimiento del requisito.



- Para la gradiente de velocidad de vertederos rectangulares, el mismo manual de evaluación del CEPIS, relata que para este tipo de mezcladores, el gradiente de velocidad debe estar entre de $1000s^{-1}$ y $2000s^{-1}$, realizada la evaluación, la gradiente de este mezclador es de $1681.99 s^{-1}$, y por ende, se concluye el cumplimiento a dicho requerimiento.
- Las gradientes de velocidad para las unidades de floculación, son:

Floculador 1: $37.69 s^{-1}$

Floculador 2: $34.01 s^{-1}$

Siguiendo el Manual de Diseño de Plantas del CEPIS, para los floculadores de tipo vertical, la gradiente no debe ser menor a $20 s^{-1}$ y como indican otros autores [12] la gradiente debe estar en un rango de $10 s^{-1}$ a $100 s^{-1}$, así podemos verificar que el gradiente de los floculadores está dentro de lo recomendado.

- Los tiempos de retención reales obtenidos fueron:

Floculador 1: 18 min

Floculador 2: 25 min

Estos tiempos estaban muy cercanos a los teóricos, lo cual se puede concluir primeramente, el correcto proceso según lo estipulado; y por último, según el Manual de Evaluación de Plantas del CEPIS, lo recomendado para estos floculadores y con una gradiente de velocidad cercana a $40s^{-1}$, es tener un tiempo de retención cercano a los 20 min. Y además como indica otras bibliografías, [11], el rango debe ser entre 15 min a 30 min, así que basándonos en estas referencias, se concluye que el tiempo de dentro de los rangos recomendados.

- En cuanto a las características hidráulicas de los floculadores, como se describe en el trabajo de tesis, siguiendo el análisis de Wolf- Resnick, en el manual de evaluación del CEPIS, lo ideal para un reactor, es obtener un predominio de flujo pistón o



mezclado, pero lo que en la práctica es extremadamente difícil obtener. Hecha la evaluación los resultados obtenidos son:

- **Floculador 1:**

Flujo Pistón: 61 %

Flujo Mezclado: 39 %

- **Floculador 2: 25 min**

Flujo Pistón: 87 %

Flujo Mezclado: 13 %

Como se verifica, existe predominio de flujo pistón, pero con presencia de flujo mezclado en los dos floculadores, es así que se puede decir, que tenemos floculadores con un flujo no ideal, que es lo que se encuentra usualmente en estas unidades de tratamiento.

Por ende, podemos concluir que desde el punto de vista hidráulico, los floculadores son eficientes, ya que se corrobora con los tiempos de retención teórico y real de los dos módulos son relativamente iguales

Al final, con los resultados obtenidos del presente trabajo podemos concluir que se logró optimizar el proceso de coagulación y floculación en la Planta de Potabilización de Agua de la Junta Parroquial de Bayas.



7.2. RECOMENDACIONES.

- Para garantizar un óptimo desarrollo de los procesos de coagulación y floculación, se recomienda realizar un control exacto en el funcionamiento tanto del dosificador de coagulante como de las compuertas reguladores de caudal en determinados lapsos de tiempo por parte de los operarios de la planta.
- Para evitar un incorrecto funcionamiento del dispositivo de dosificación de coagulante, se recomienda darle un mantenimiento mensualmente a todo el sistema debido a que suelen haber impurezas en el dosificador que pueda afectar su trabajo.
- Se recomienda trabajar con un caudal de operación mayor a 15 l/s, lo más cercano posible al caudal de operación con el que fue diseñada la planta de 20 l/s, para que las velocidades entre los compartimientos de los floculadores estén próximos a las velocidades recomendadas.
- Se recomienda mantener llenos los tanques de preparación de coagulante y de la misma forma mantener lleno las tres cuartas parte del dosificador para evitar la reducción de coagulante al momento de dosificar ya que las pruebas de calibración previas a su funcionamiento se realizaron en estas condiciones.
- Se recomienda que en un futuro se hagan pruebas con policloruro de aluminio para determinar si se puede mejorar aún más el proceso de coagulación y floculación.
- Debido a la conformación de las placas del floculador con asbesto, conocido como un agente cancerígeno, el mismo que podría estar inexistente en el presente en las placas, se recomienda por prevención el cambio de las mismas, a otras conformadas con el termoplástico ABS (Acrilonitrilo butadieno estireno) ya que es un plástico que confiere la propiedad de resistencia a la rotura en el vaciado y llenado de las unidades, además de ser un material tenaz a cualquier temperatura, y ataque de químicos.



BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Ing. Lidia Vargas, *Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de Filtración rápida. MANUAL I: Teoría*. 2004, CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente).
- [2] *Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de Filtración rápida. MANUAL II: Diseño de Plantas de tecnología apropiada*. 2004, CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente).
- [3] *Tratamiento de agua para consumo humano, Plantas de Filtración rápida. MANUAL IV: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*. 2004, CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente).
- [4] Jairo Alberto Romero Rojas, *Calidad del Agua*. 2002, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- [5] Alba Lucia Trujillo López, *Principios Básicos de calidad y tratamiento de agua potable*, 2007, Editorial Universidad de Caldas.
- [6] Ing. Galo Ordoñez E., *Apuntes de la Química del Agua*. 2001, Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería.
- [7] www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-ph.pdf
- [8] www.catarina.udlap.mx/u_dl_a/tates/documentos/lic/ponce_o_e/capitulo2.pdf
- [9] Vaquero y Toxqui, *Agua para la salud pasado, presente y futuro*, 2012, Editorial Csic.
- [10] American Water Works Association, *Calidad y tratamiento del agua*. 2002, Editorial McGraw-Hill.
- [11] Jairo Alberto Romero Rojas, *Purificación del Agua*. 2006, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- [12] Arboleda Valencia J., *Teoría y Práctica de la Purificación del agua*. 1992, Editorial Acodal Colombia.
- [13] *Modulo de Calidad y tratamiento de Agua*. 2014, Universidad de Cuenca.
- [14] Armando Rojas Vargas y Amancia García Pérez, *Análisis de la curva de calibración de distribución del tiempo de residencia en un sistema de lixiviación*. 2010. Centro de Investigaciones del Níquel.
- [15] Azevedo N. y Acosta, *Manual Hidráulico*. 1976, Harla S.A México.
- [16] NTE INEN Agua Potable. Requisitos. Quito-Ecuador. 2014.



ANEXOS

ANEXO 1

Ficha Técnica del Coagulante Sulfato de Aluminio

	QUIMPAC Ecuador S.A.	
	Cont. Especial - Autorización SRI 1103636762 RUC 0990344760001 Calif. CONSEP: 09-0866-I	FICHA TÉCNICA N°40 FECHA DE REVISIÓN: ENERO-2013

PRODUCTO:	SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO GRADO 1 TIPO A FINO / ALUMINUM SULFATE GRADE 1 FINE TYPE A
NOMBRE COMERCIAL:	QUIMPAC 1000 SF
FÓRMULA:	$(\text{SO}_4)_3 \text{Al}_2 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$
DESCRIPCIÓN:	Grano color blanco, sabor astringente y ligeramente dulce, olor característico, soluble en agua.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

COMPONENTES	ESPECIFICACIÓN	MÉTODO
Alúmina soluble Total expresada como Al_2O_3	17 % m/m Min	INEN 1907
Basicidad, expresada como $\text{Al}_2 \text{O}_3$	0.05 % m/m Min	INEN 1906
Hierro soluble total, expresado como Fe_2O_3	0.01 % m/m Max	INEN 1908
Materias Insolubles en agua	0.5 % m/m Max	INEN 1905
Dosificación máxima uso (MUL)	250 mg/l	NSF 60-Método K

PRESENTACIÓN

FINO
Malla 10
90 %

EMPAQUE Y EMBARQUE:

Sacos de polipropileno de 25 y 50 Kg

Para mayor información contactar a nuestro Departamento de Ventas.

CONDICIONES DE ALMACENAJE

Mantener en un lugar ventilado y protegido del sol. Usar envases de acero inoxidable o recipientes de PVC para trasvasar el producto. No ingerir.

Para mayor información contactar a nuestro Departamento de Ventas

NOTA: Los datos contenidos en boletín tienen por objeto orientar y dar servicio. Sin embargo y debido a sus múltiples usos la garantía de nuestro producto está sujeta al manejo posterior por parte de los usuarios.

MSDS No: 40-E

Fecha de Revisión: 1-Nov-2013

HOJA DE SEGURIDAD DE MATERIALES

1. IDENTIFICACION DEL MATERIAL

Quimpac 1000 SG
Sulfato de Aluminio, Grado 1 Tipo A Grueso- Aluminium
Sulfate GRADE 1 THICK TYPE A
Tratamiento de Aguas

Nombre de la Comercializadora: QUIMPAC ECUADOR S.A.

Dirección de la Comercializadora: Km. 16.5 vía a Daule, Av. Rosavín y Cobre

2. COMPOSICION / INFORMACION DE INGREDIENTES

Ingrediente(s) Peligroso(s)	% (p/p)	TLV	CAS N°
Alúmina	17	2 mg/m ³	10043-01-3

3. PROPIEDADES FISICAS

Apariencia y Color: Polvo Blanco
Temperatura de Fusión (°C): Se descompone a los 770°C
Temperatura de Ebullición: No aplicable
Solubilidad en Agua: 31 .3
Densidad Relativa: 2.71
Dosificación: 250mg/l

4. RIESGOS DE FUEGO

Por si solo no genera riesgos de fuego y Explosión. Sometido al fuego, puede generar gases irritantes y tóxicos, incluidos óxidos de azufre y óxido de aluminio. En caso de incendio, proceda a enfriar con agua los envases. Los recipientes cerrados al ser calentados pueden reventar por incremento de la presión interna.

Medio para extinguir el fuego: Use cualquier método adecuado para extinguir el fuego de los alrededores. (Agua, polvo químico, dióxido de carbono o espuma química).

Información Especial: Los bomberos deben colocarse el traje completo de protección: equipo de respiración autónoma, traje aislante impermeable.

5. RIESGOS PARA LA SALUD



Inhalación: Tensión y dolor en el pecho, tos, dificultad para respirar, dolor de garganta.

Ingestión: Náusea, vómito, irritación gastrointestinal.

Contacto con la piel: Irritación, enrojecimiento.

Contacto con los ojos: Irritación, enrojecimiento, ardor severo.

Carcinogenicidad: ND.

Mutagenicidad: ND.

Peligros reproductivos: ND.

6. PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Si la víctima respira en forma acelerada, muévela hacia el aire fresco. Reposo y atención médica.

Ingestión: Dirigido por personal médico, inducir vómito inmediatamente. Lave la boca, dé abundante agua a beber, o 1 litro de leche. Si la persona está inconsciente no administre nada por la boca.

Contacto con la piel: Lave la piel con una solución jabonosa y enjuague con abundante agua por lo menos durante 15 minutos. Enjuague completamente la ropa y zapatos antes de usarlos de nuevo.

Contacto con los ojos: Lave inmediatamente con abundante agua por lo menos durante 15 minutos, levante ocasionalmente los párpados superior e inferior. Solicite atención médica.

7. RIESGO AMBIENTAL

No se disponen de datos que revelen riesgo ambiental.

8. ESTABILIDAD

Estabilidad: Estable bajo condiciones normales de uso y almacenamiento.

Peligros por descomposición: Óxidos de azufre, metales álcalis. La solución en agua es un medio fuertemente ácido.

Incompatibilidad: Agentes fuertemente oxidantes, humedad. Reacciona con álcalis y ataca a muchos metales en presencia de agua.

Condiciones a evitar: Materiales incompatibles, exposición al aire húmedo o agua, prevenir la dispersión de polvos cuya concentración de partículas puede rápidamente alcanzar niveles mayores al TLV.



9. PROCEDIMIENTO EN CASO DE DERRAMES

Aísle la zona. Recoja el material derramado usando un método que no genere polvo. Lave la zona con solución jabonosa, si es necesario neutralice el suelo con bicarbonato de sodio o una solución de soda cáustica. Arroje abundante agua a la zona del derrame. El personal de la brigada de emergencia debe contar con el equipo de protección completo.

10. MEDIDAS DE CONTROL E HIGIENE INDUSTRIAL

Ventilación: Se recomienda un sistema local para evacuar gases y polvos, que permita mantener el TLV con valores permisibles y a la vez controlar las emisiones contaminantes en la fuente misma, previniendo la dispersión general en el área de tr

11. **Respirador personal:** Hasta 10 veces el TLV, use mascarilla con pantalla facial y cartuchos para polvos ácidos. Para casos emergentes en que el nivel de exposición es desconocido, usar el equipo de respiración autónomo. Advertencia: Los respiradores de cartuchos no protegen a los trabajadores en atmósferas deficientes de oxígeno.

Protección de la piel: En condiciones normales de operación evitar contacto con la piel, usando trajes completos de tela impenetrable, incluyendo botas, chaqueta y casco protector. Para casos emergentes utilice trajes de PVC, botas y guantes de caucho.

Protección de los ojos: Use gafas plásticas de seguridad. Y en lugares con riesgo de salpicaduras de soluciones o presencia de nubes de polvo y niebla, usar mascarilla facial completa. Mantenga una ducha y un equipo para lavado de ojos en el lugar de trabajo.

11. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Arrumes altos, máximo 4 metros en bodegas cubiertas. No coloque los sacos directamente sobre pisos húmedos. Use pallets. Evite polvos contaminantes. Evite golpear los sacos que contienen los fundas de 1 Kg, y efectúe arrumes de hasta 1,5 metros para este caso. Aísle las sustancias incompatibles. Los recipientes vacíos de este material pueden ser peligrosos por cuanto pueden tener residuos (polvos, partículas).

Transporte en vehículos con plataforma cerrada. Estibación de sacos de manera entrelazada. Para estibación mecanizada usar pallets con 20 sacos.

12. INFORMACION SOBRE TOXICIDAD

LD₅₀ (oral, ratas) : > 5g/Kg. (toxicidad aguda)

El contacto del polvo con agua la vuelve ligeramente corrosiva.

Dpto. Seguridad Industrial y Medio Ambiente
QUIMPAC ECUADOR S.A

Calle Idrovo Leonardo Daniel
Zambrano Torres César Alfredo

ANEXO 2

Ficha Técnica del Ayudante de Coagulación.

Polímero Catiónico.

- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos orgánicos.
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales.
- Trabaja en un rango amplio de pH: 1.0 – 13.
- Fácilmente soluble en agua.
- Excelente relación costo-rendimiento. Trabaja a dosis muy bajas.

Usos Principales.

LIPESA 1569 A ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos provenientes de procesos de clarificación y espesamiento de efluentes industriales, especialmente de aguas industriales y procesos varios.

Descripción general.

LIPESA 1569^a es un polímero solido de alto peso molecular, ligeramente catiónico con las siguientes características:

- Color: Blanco
- Olor: Inodoro
- Densidad: 0.80 gr/m³
- Solubilidad: 0.5 % en agua.
- Viscosidad: 750 cps al 5.0 g/l
360 cps al 2.5g/l
130 cps al 1.0 g/l

Dosis: La dosis de LIPESA 1569 A varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. Las dosis típicas son:

- Deshidratación mecánica: 5 – 150 g/m³
- Espesamiento y clarificación: 0.05-30 g/m³

En todo caso, el representante técnico LIPESA le asesora en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

Modelo de empleo y Alimentación.

LIPESA 1569 A se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla a través de bombas dosificadoras de acero de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0.5% de concentración y alimentar luego al 0.1% de concentración como máximo.

ANEXO 3

Procedimiento de las Pruebas de Jarras para encontrar la dosis optima de coagulante.

Especificaciones:

Equipo de 6 jarras de 2 litros cada una.

Instructivo:

- Verificar que todas las jarras estén centradas.
- Controlar que todas las paletas estén centradas.
- Conectar el equipo.
- Encender las lámparas.
- Programar la agitación rápida.
- Programar la agitación lenta.
- Conclusión de la prueba.
- Apagar el sistema.
- Desconectar el equipo y dejar completamente limpio.

Procedimiento de la prueba de jarras.

Las pruebas de jarras se utilizan para determinar la dosis más efectiva de coagulante para un agua específica durante el control de la coagulación y floculación en una planta de tratamiento.

- Colocar un vaso de 2 litros debajo de cada una de las paletas de agitación.
- Colocar en cada vaso exactamente 2 litros medidos con una probeta graduada, de una muestra fresca de agua cruda.
- Anotar la cantidad de coagulante que se debe añadir a cada vaso. Esta cantidad variará de vaso en vaso.
- Con jeringas, añadir el coagulante en cantidades crecientes en vasos sucesivos. Por ejemplo: 10 mg/l en el vaso #1, 20 mg/l en el vaso #2, etc.
- Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos, arrancar el agitador y operarlo durante un minuto.
- Reducir la velocidad al grado seleccionado de agitación (40 rpm) y permitir la agitación continúe durante 15 min. (condiciones de operación de la floculación de la planta).
- A los 2 min de iniciado la agitación, con jeringas, añadir 0.4 mg/l de ayudante de coagulante a todas las jarras.
- Una vez que transcurre el tiempo de agitación, bajar las revoluciones a 2 rpm por 20 min, lo que simularía el proceso de sedimentación en la planta.
- Después de permitir que el flóculo sedimente por 20 min, determinar el color y la turbiedad del sobrenadante (el líquido por encima de los flóculos).
- Anotar los resultados y de acuerdo a estos, determinar la dosis óptima de coagulante.

Determinación del Volumen de sustancia coagulante en función de la dosis.

$$V * D = v * c$$

V= Volumen de agua cruda (l).

D= Dosis de coagulante a adicionar (mg/l).

v= Volumen de coagulante a adicionar (l).

c= Concentración de coagulante (mg/l).

Por ejemplo, para una dosis de 10 mg/l.

V= 2 l, Volumen de Jarra en el equipo.

D= 10 mg/l.

c= 2% = 20000 mg/l

$$v = \frac{V * D}{c}$$

$$v = \frac{2 \text{ l} * 10 \text{ mg/l}}{20000 \text{ mg/l}}$$

$$v = 0.001 \text{ l} = 1 \text{ cm}^3$$

ANEXO 4

Procedimiento de las pruebas de jarras para definir la dosis óptima del ayudante de coagulación.

Especificaciones:

Equipo de 5 jarras de 2 litros cada una.

Instructivo:

- Verificar que todas las jarras estén centradas.
- Controlar que todas las paletas estén centradas.
- Conectar el equipo.
- Encender las lámparas.
- Programar la agitación rápida.
- Programar la agitación lenta.
- Conclusión de la prueba.
- Apagar el sistema.
- Desconectar el equipo y dejar completamente limpio.

Procedimiento de la prueba de jarras.

- Colocar un vaso de 2 litros debajo de cada una de las paletas de agitación.
- Colocar en cada vaso exactamente 2 litros medidos con una probeta graduada, de una muestra fresca de agua cruda.
- Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos, arrancar el agitador y operarlo durante un minuto.
- En este caso, como la dosis a determinar es la de ayudante de polímero, con la turbiedad determinada, se colocara con jeringa la dosis determinada para dicha turbiedad, en todas las jarras.
- Reducir la velocidad al grado seleccionado de agitación (40 rpm) y permitir la agitación continúe durante 15 min. (condiciones de operación de la floculación de la planta).
- Con jeringas, después de 2 min, añadir el ayudante de coagulación en cantidades crecientes en vasos sucesivos.
- Una vez que transcurre el tiempo de agitación, bajar las revoluciones a 2 rpm por 20 min, lo que simularía el proceso de sedimentación en la planta.
- Después de permitir que el flóculo sedimente por 20 min, determinar el color y la turbiedad del sobrenadante (el líquido por encima de los flóculos).
- Anotar los resultados y de acuerdo a estos, determinar la dosis óptima de ayudante de coagulación.

ANEXO 5

Procedimiento para la determinación de la pérdida de carga de la unidad de mezcla rápida y la de floculación.

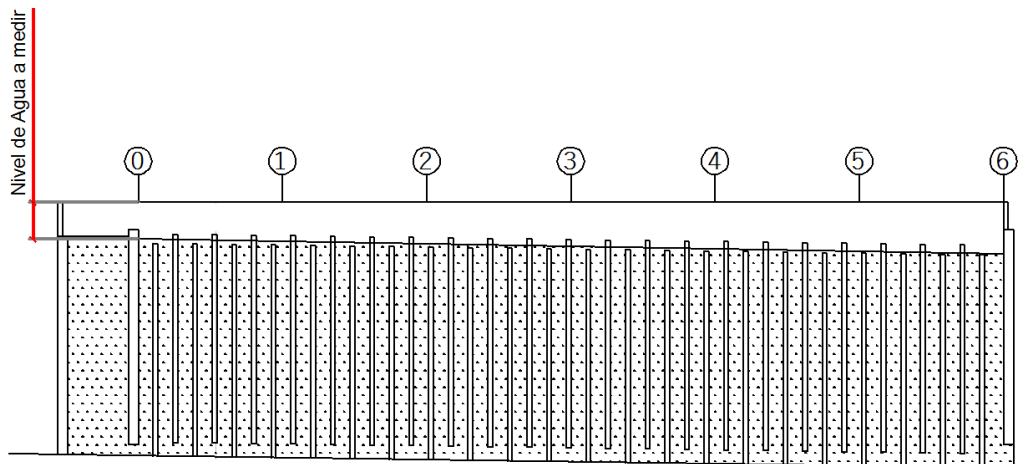
Materiales

- Flexómetro.
- Teodolito o nivel.
- Cinta.

Determinación de la pérdida de carga en los floculadores.

Procedimiento:

- Colocamos una cinta de extremo a extremo en el floculador, a una cierta distancia de la superficie de agua.
- Con la ayuda del teodolito, nivelamos la cinta, con la superficie de agua.
- Y mediante el flexómetro, medimos la distancia de la cinta hasta la superficie de agua, en diferentes tramos.



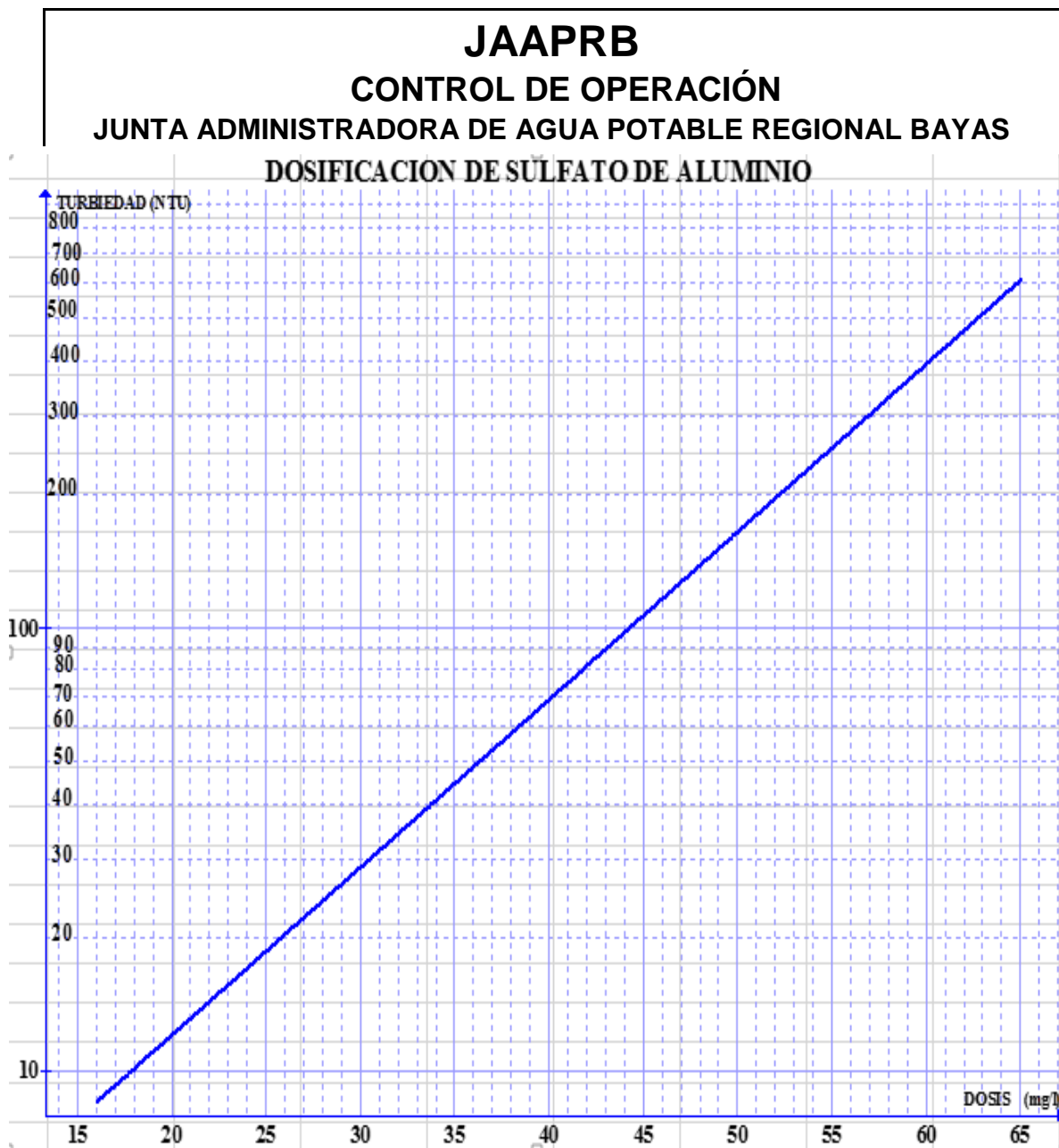
ANEXO 6

Tabla para la determinación del caudal de operación con la que consta la planta de tratamiento.

JAAPRB																		
CONTROL DE OPERACIÓN																		
JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE REGIONAL BAYAS																		
CANTIDAD DE SULFATO DE ALUMINIO litros / minuto																		
CAUDAL DE AGUA CRUDA (l/s)																		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
DOSIS DE SULFATO DE ALUMINIO (mg/l)	15	0,18	0,23	0,27	0,32	0,36	0,41	0,45	0,50	0,54	0,59	0,63	0,68	0,72	0,77	0,81	0,86	0,90
	16	0,19	0,24	0,29	0,34	0,38	0,43	0,48	0,53	0,58	0,62	0,67	0,72	0,77	0,82	0,86	0,91	0,96
	17	0,20	0,26	0,31	0,36	0,41	0,46	0,51	0,56	0,61	0,66	0,71	0,77	0,82	0,87	0,92	0,97	1,02
	18	0,22	0,27	0,32	0,38	0,43	0,49	0,54	0,59	0,65	0,70	0,76	0,81	0,86	0,92	0,97	1,03	1,08
	19	0,23	0,29	0,34	0,40	0,46	0,51	0,57	0,63	0,68	0,74	0,80	0,86	0,91	0,97	1,03	1,08	1,14
	20	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54	0,60	0,66	0,72	0,78	0,84	0,90	0,96	1,02	1,08	1,14	1,20
	21	0,25	0,32	0,38	0,44	0,50	0,57	0,63	0,69	0,76	0,82	0,88	0,95	1,01	1,07	1,13	1,20	1,26
	22	0,26	0,33	0,40	0,46	0,53	0,59	0,66	0,73	0,79	0,86	0,92	0,99	1,06	1,12	1,19	1,25	1,32
	23	0,28	0,35	0,41	0,48	0,55	0,62	0,69	0,76	0,83	0,90	0,97	1,04	1,10	1,17	1,24	1,31	1,38
	24	0,29	0,36	0,43	0,50	0,58	0,65	0,72	0,79	0,86	0,94	1,01	1,08	1,15	1,22	1,30	1,37	1,44
	25	0,30	0,38	0,45	0,53	0,60	0,68	0,75	0,83	0,90	0,98	1,05	1,13	1,20	1,28	1,35	1,43	1,50
	26	0,31	0,39	0,47	0,55	0,62	0,70	0,78	0,86	0,94	1,01	1,09	1,17	1,25	1,33	1,40	1,48	1,56
	27	0,32	0,41	0,49	0,57	0,65	0,73	0,81	0,89	0,97	1,05	1,13	1,22	1,30	1,38	1,46	1,54	1,62
	28	0,34	0,42	0,50	0,59	0,67	0,76	0,84	0,92	1,01	1,09	1,18	1,26	1,34	1,43	1,51	1,60	1,68
	29	0,35	0,44	0,52	0,61	0,70	0,78	0,87	0,96	1,04	1,13	1,22	1,31	1,39	1,48	1,57	1,65	1,74
	30	0,36	0,45	0,54	0,63	0,72	0,81	0,90	0,99	1,08	1,17	1,26	1,35	1,44	1,53	1,62	1,71	1,80
	31	0,37	0,47	0,56	0,65	0,74	0,84	0,93	1,02	1,12	1,21	1,30	1,40	1,49	1,58	1,67	1,77	1,86
	32	0,38	0,48	0,58	0,67	0,77	0,86	0,96	1,06	1,15	1,25	1,34	1,44	1,54	1,63	1,73	1,82	1,92
	33	0,40	0,50	0,59	0,69	0,79	0,89	0,99	1,09	1,19	1,29	1,39	1,49	1,58	1,68	1,78	1,88	1,98
	34	0,41	0,51	0,61	0,71	0,82	0,92	1,02	1,12	1,22	1,33	1,43	1,53	1,63	1,73	1,84	1,94	2,04
	35	0,42	0,53	0,63	0,74	0,84	0,95	1,05	1,16	1,26	1,37	1,47	1,58	1,68	1,79	1,89	2,00	2,10
	36	0,43	0,54	0,65	0,76	0,86	0,97	1,08	1,19	1,30	1,40	1,51	1,62	1,73	1,84	1,94	2,05	2,16
	37	0,44	0,56	0,67	0,78	0,89	1,00	1,11	1,22	1,33	1,44	1,55	1,67	1,78	1,89	2,00	2,11	2,22
	38	0,46	0,57	0,68	0,80	0,91	1,03	1,14	1,25	1,37	1,48	1,60	1,71	1,82	1,94	2,05	2,17	2,28
	39	0,47	0,59	0,70	0,82	0,94	1,05	1,17	1,29	1,40	1,52	1,64	1,76	1,87	1,99	2,11	2,22	2,34
	40	0,48	0,60	0,72	0,84	0,96	1,08	1,20	1,32	1,44	1,56	1,68	1,80	1,92	2,04	2,16	2,28	2,40
	41	0,49	0,62	0,74	0,86	0,98	1,11	1,23	1,35	1,48	1,60	1,72	1,85	1,97	2,09	2,21	2,34	2,46
	42	0,50	0,63	0,76	0,88	1,01	1,13	1,26	1,39	1,51	1,64	1,76	1,89	2,02	2,14	2,27	2,39	2,52
	43	0,52	0,65	0,77	0,90	1,03	1,16	1,29	1,42	1,55	1,68	1,81	1,94	2,06	2,19	2,32	2,45	2,58
	44	0,53	0,66	0,79	0,92	1,06	1,19	1,32	1,45	1,58	1,72	1,85	1,98	2,11	2,24	2,38	2,51	2,64
45	0,54	0,68	0,81	0,95	1,08	1,22	1,35	1,49	1,62	1,76	1,89	2,03	2,16	2,30	2,43	2,57	2,70	
46	0,55	0,69	0,83	0,97	1,10	1,24	1,38	1,52	1,66	1,79	1,93	2,07	2,21	2,35	2,48	2,62	2,76	
47	0,56	0,71	0,85	0,99	1,13	1,27	1,41	1,55	1,69	1,83	1,97	2,12	2,26	2,40	2,54	2,68	2,82	
48	0,58	0,72	0,86	1,01	1,15	1,30	1,44	1,58	1,73	1,87	2,02	2,16	2,30	2,45	2,59	2,74	2,88	
49	0,59	0,74	0,88	1,03	1,18	1,32	1,47	1,62	1,76	1,91	2,06	2,21	2,35	2,50	2,65	2,79	2,94	
50	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	1,95	2,10	2,25	2,40	2,55	2,70	2,85	3,00	

ANEXO 7

Curva de Dosificación de coagulante con la que trabaja la planta de tratamiento.



Calle Idrovo Leonardo Daniel
Zambrano Torres César Alfredo

ANEXO 8

Tabla C vs. Co Floculador 1

Floculador 1					Fecha	07/02/2015			
Volumen Floculador:		12,74	m3		Tiempo de Retención	to	20,22 min		
Caudal de Prueba:		10,5	l/s						
Concentración Inicial:			39 ppm						
Nro Muestra	t	K	C	t/to	C-Co	$\Sigma(C-Co)$	F(t)	1-F(t)	
0	0	109,86	39	0	0	0	0	100	
1	2	109,86	39	0,10	0	0	0,00	100,00	
2	4	118,31	42	0,20	3	3	0,10	99,90	
3	6	140,85	50	0,30	11	14	0,49	99,51	
4	8	205,63	73	0,40	34	48	1,68	98,32	
5	10	250,70	89	0,49	50	98	3,42	96,58	
6	11	329,58	117	0,54	78	176	6,15	93,85	
7	12	354,93	126	0,59	87	263	9,19	90,81	
8	13	391,55	139	0,64	100	363	12,68	87,32	
9	14	419,72	149	0,69	110	473	16,53	83,47	
10	15	447,89	159	0,74	120	593	20,72	79,28	
11	16	456,34	162	0,79	123	716	25,02	74,98	
12	17	470,42	167	0,84	128	844	29,49	70,51	
13	18	478,87	170	0,89	131	975	34,07	65,93	
14	19	473,24	168	0,94	129	1104	38,57	61,43	
15	20	461,97	164	0,99	125	1229	42,94	57,06	
16	21	450,70	160	1,04	121	1350	47,17	52,83	
17	22	433,80	154	1,09	115	1465	51,19	48,81	
18	23	405,63	144	1,14	105	1570	54,86	45,14	
19	24	380,28	135	1,19	96	1666	58,21	41,79	
20	25	369,01	131	1,24	92	1758	61,43	38,57	
21	26	360,56	128	1,29	89	1847	64,54	35,46	
22	27	346,48	123	1,34	84	1931	67,47	32,53	
23	28	340,85	121	1,38	82	2013	70,34	29,66	
24	29	335,21	119	1,43	80	2093	73,13	26,87	
25	30	329,58	117	1,48	78	2171	75,86	24,14	
26	31	323,94	115	1,53	76	2247	78,51	21,49	
27	32	321,13	114	1,58	75	2322	81,13	18,87	
28	34	315,49	112	1,68	73	2395	83,68	16,32	
29	36	307,04	109	1,78	70	2465	86,13	13,87	
30	38	295,77	105	1,88	66	2531	88,43	11,57	
31	40	281,69	100	1,98	61	2592	90,57	9,43	
32	42	264,79	94	2,08	55	2647	92,49	7,51	
33	44	236,62	84	2,18	45	2692	94,06	5,94	

Calle Idrovo Leonardo Daniel
Zambrano Torres César Alfredo

34	46	214,08	76	2,27	37	2729	95,35	4,65
35	48	194,37	69	2,37	30	2759	96,40	3,60
36	50	177,46	63	2,47	24	2783	97,24	2,76
37	52	154,93	55	2,57	16	2799	97,80	2,20
38	54	149,30	53	2,67	14	2813	98,29	1,71
39	56	143,66	51	2,77	12	2825	98,71	1,29
40	58	138,03	49	2,87	10	2835	99,06	0,94
41	60	132,39	47	2,97	8	2843	99,34	0,66
42	62	126,76	45	3,07	6	2849	99,55	0,45
43	64	126,76	45	3,16	6	2855	99,76	0,24
44	66	121,13	43	3,26	4	2859	99,90	0,10
45	68	115,49	41	3,36	2	2861	99,97	0,03
46	70	112,68	40	3,46	1	2862	100,00	0,00

ANEXO 9

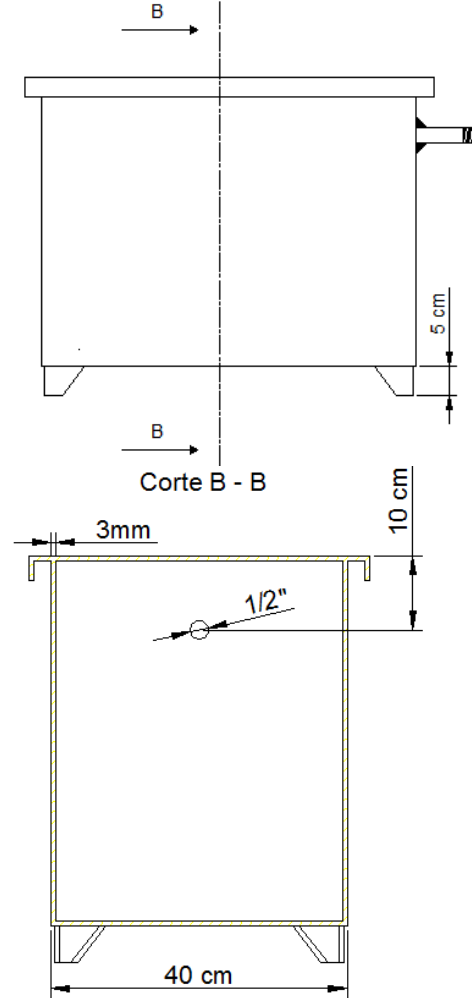
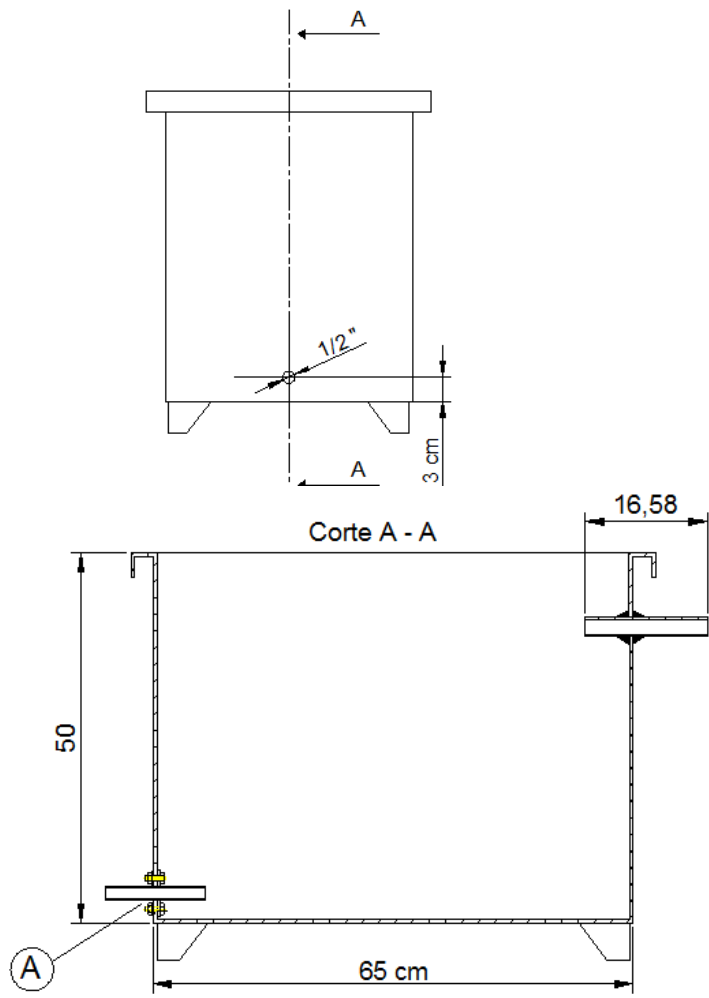
Tabla C vs. Co Floculador 2

Floculador 2				Fecha	18/12/2014			
Volumen Floculador:		12,74	m ³	Tiempo de Retención	to	23,6 min		
Caudal de Prueba:		9	l/s					
Concentración Inicial:			38,0					
Nro Muestra	t	K	C	t/to	C-Co	Σ(C-Co)	F(t)	1-F(t)
0	0	107,04	38	0	0	0	0	100
1	2	107,04	38	0,08	0,0	0,0	0,000	100,000
2	4	112,68	40	0,17	2,0	2,0	0,127	99,873
3	6	135,21	48	0,25	10,0	12,0	0,761	99,239
4	8	177,46	63	0,34	25,0	37,0	2,346	97,654
5	10	225,35	80	0,42	42,0	79,0	5,010	94,990
6	12	267,61	95	0,51	57,0	136,0	8,624	91,376
7	14	281,69	100	0,59	62,0	198,0	12,555	87,445
8	16	256,34	91	0,68	53,0	251,0	15,916	84,084
9	18	233,80	83	0,76	45,0	296,0	18,770	81,230
10	20	228,17	81	0,85	43,0	339,0	21,497	78,503
11	22	264,79	94	0,93	56,0	395,0	25,048	74,952
12	24	335,21	119	1,02	81,0	476,0	30,184	69,816
13	26	422,54	150	1,10	112,0	588,0	37,286	62,714
14	27	476,06	169	1,14	131,0	719,0	45,593	54,407
15	28	529,58	188	1,19	150,0	869,0	55,105	44,895
16	29	535,21	190	1,23	152,0	1021,0	64,743	35,257
17	30	504,23	179	1,27	141,0	1162,0	73,684	26,316
18	31	422,54	150	1,31	112,0	1274,0	80,786	19,214
19	32	323,94	115	1,36	77,0	1351,0	85,669	14,331
20	33	270,42	96	1,40	58,0	1409,0	89,347	10,653
21	34	233,80	83	1,44	45,0	1454,0	92,200	7,800
22	35	211,27	75	1,48	37,0	1491,0	94,547	5,453
23	36	183,10	65	1,53	27,0	1518,0	96,259	3,741
24	37	160,56	57	1,57	19,0	1537,0	97,464	2,536
25	38	149,30	53	1,61	15,0	1552,0	98,415	1,585
26	39	140,85	50	1,65	12,0	1564,0	99,176	0,824
27	40	129,58	46	1,70	8,0	1572,0	99,683	0,317
28	42	118,31	42	1,78	4,0	1576,0	99,937	0,063
29	44	109,86	39	1,86	1,0	1577,0	100,000	0,000
30	46	107,04	38	1,95	0,0	1577,0	100,000	0,000

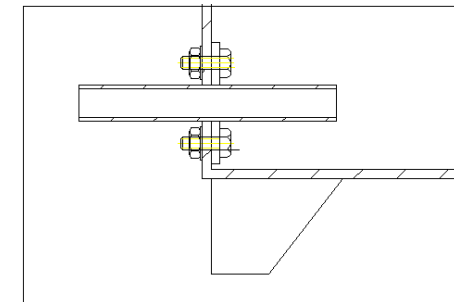
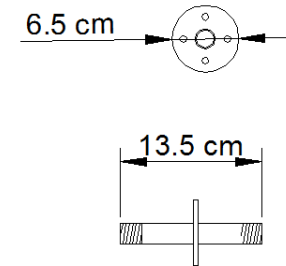


ANEXO 10

Planos del Equipo Dosificador.



Tubería de Salida



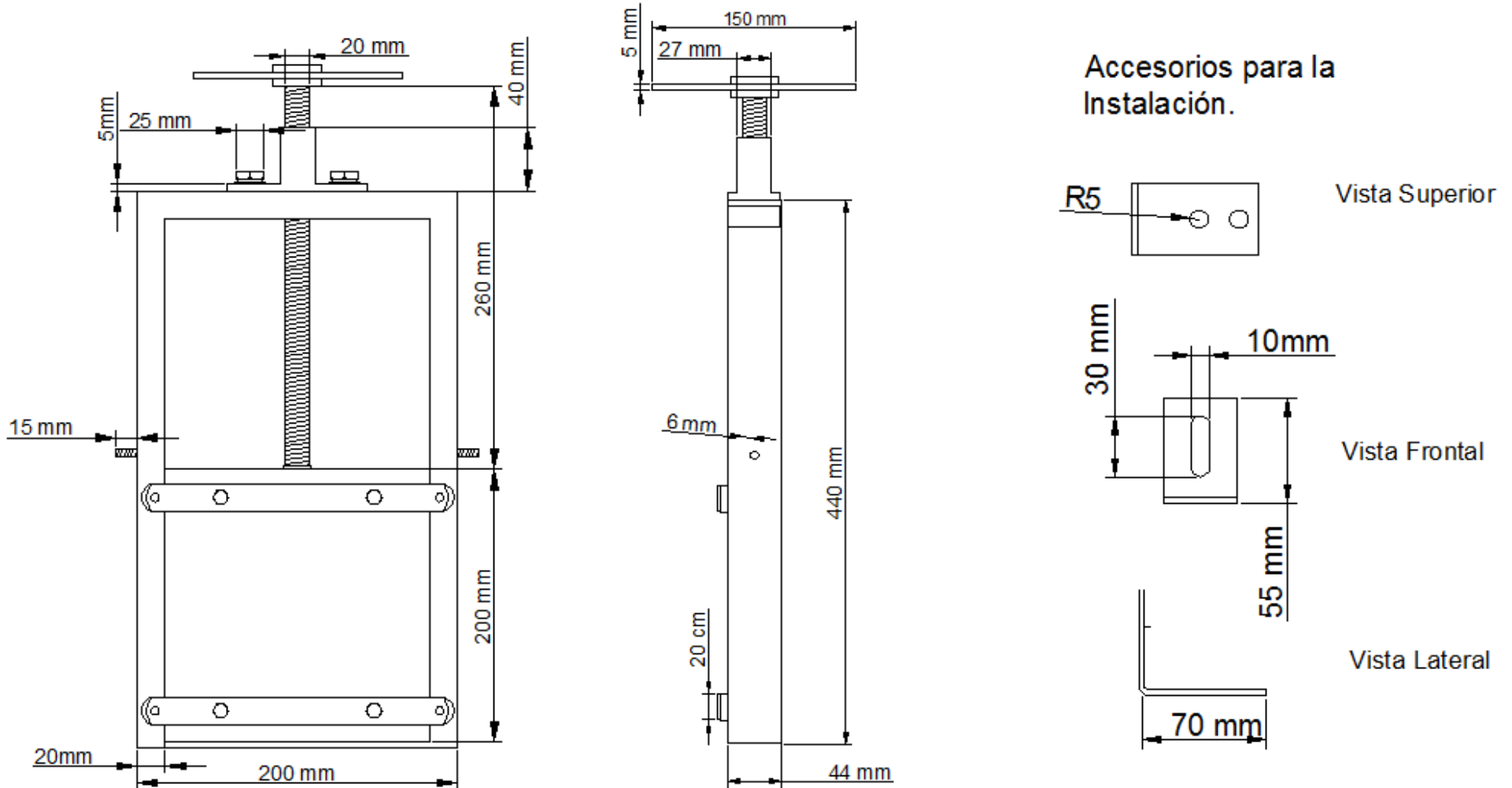
Detalle A

Calle Idrovo Leonardo Daniel
Zambrano Torres César Alfredo



ANEXO 11

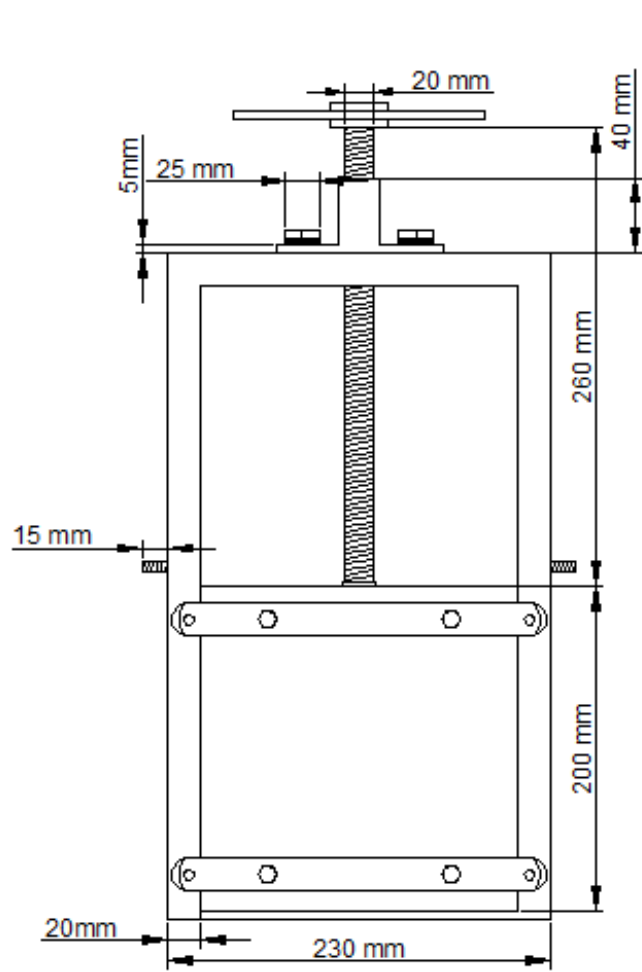
Planos de las Compuertas Reguladoras de Caudal. COMPUERTA FLOCULADOR 1.



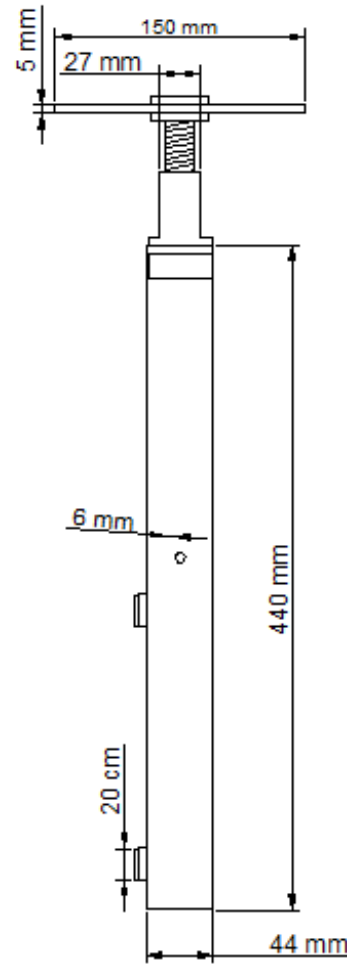
Calle Idrovo Leonardo Daniel
Zambrano Torres César Alfredo



COMPUERTA FLOCULADOR 2.



Vista Frontal

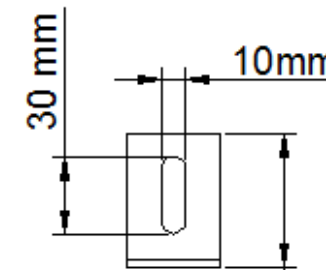


Vista Lateral

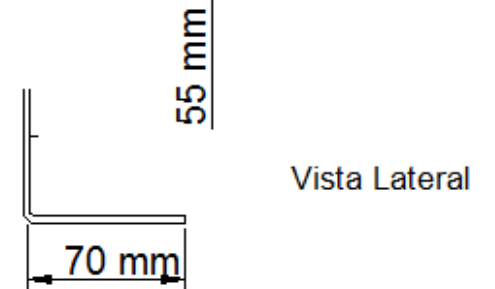
Accesorios para la Instalación.



Vista Superior



Vista Frontal



Vista Lateral

Calle Idrovo Leonardo Daniel
Zambrano Torres César Alfredo

ANEXO 12

Resultados de los ensayos de las Pruebas de Jarras.

PRUEBAS DE JARRAS NOVIEMBRE 03, 2014						
TURBIEDAD AGUA CRUDA= 7,89 NTU						
PARAMETROS	DOSIS mg/l					
	10	15	20	25	30	35
TURBIEDAD (NTU)	7,73	6,85	3,87	4,47	5,83	6,97
COLOR (UC)	123	90	55	62	72	99
pH	7,61	7,33	7,25	7,14	6,95	6,95

PRUEBAS DE JARRAS ENERO 07, 2015						
TURBIEDAD AGUA CRUDA= 15						
PARAMETROS	DOSIS mg/l					
	20	25	30	35	40	45
TURBIEDAD (NTU)	12,8	4,3	5,05	8,1	11,3	13,4
COLOR (UC)	148	63	51	92	124	148
pH	6,48	6,6	6,86	6,9	6,89	6,59

PRUEBAS DE JARRAS DICIEMBRE 16, 2014						
TURBIEDAD AGUA CRUDA= 47 NTU						
PARAMETROS	DOSIS mg/l					
	25	30	35	40	45	50
TURBIEDAD (NTU)	12,1	4,73	2,65	2,87	3,22	4,04
COLOR (UC)	205	96	34	44	49	63
pH	7,57	6,86	6,38	6,05	5,78	5,55

PRUEBAS DE JARRAS ENERO 20, 2015						
TURBIEDAD AGUA CRUDA= 69 NTU						
PARAMETROS	DOSIS mg/l					
	25	30	35	40	45	50
TURBIEDAD (NTU)	6,23	4,57	4,02	3,64	8,02	12,3
COLOR (UC)	60	37	24	14	49	185
pH	7,08	6,91	6,77	6,77	6,63	6,42

PRUEBAS DE JARRAS MARZO 15, 2015						
TURBIEDAD AGUA CRUDA= 102 NTU						
PARAMETROS	DOSIS mg/l					
	35	40	45	50	55	60
TURBIEDAD (NTU)	9,23	6,89	6,66	3,9	5,6	11,05
COLOR (UC)	77	64	45	21	45	98
pH	7,05	6,9	6,79	6,63	6,45	4,42

PRUEBAS DE JARRAS NOVIEMBRE 13, 2014						
TURBIEDAD AGUA CRUDA= 122 NTU						
PARAMETROS	DOSIS mg/l					
	25	30	35	40	45	50
TURBIEDAD (NTU)	7,17	3,09	2,85	2,83	3,6	4,15
COLOR (UC)	114	64	49	30	48	49
pH	7,2	6,7	6,11	5,5	5,23	5,12

PRUEBAS DE JARRAS ENERO 16, 2015						
TURBIEDAD AGUA CRUDA= 130 NTU						
PARAMETROS	DOSIS mg/l					
	35	40	45	50	55	60
TURBIEDAD (NTU)	5,5	5,3	5,28	4,64	4,97	6,02
COLOR (UC)	16	37	27	30	42	78
pH	6,45	5,73	5,41	5,25	5,18	5,15

PRUEBAS DE JARRAS DICIEMBRE 05, 2014						
TURBIEDAD AGUA CRUDA= 248 NTU						
PARAMETROS	DOSIS mg/l					
	35	40	45	50	55	60
TURBIEDAD (NTU)	23,9	13,7	5,8	2,99	4,2	5,43
COLOR (UC)	374	203	92	60	71	46
pH	7,3	7,26	7,14	7,04	6,97	6,91

PRUEBAS DE JARRAS NOVIEMBRE 08, 2014						
TURBIEDAD AGUA CRUDA= 550 NTU						
PARAMETROS	DOSIS mg/l					
	35	40	45	50	55	60
TURBIEDAD (NTU)	76,9	61,4	47,6	32,9	11,4	6,67
COLOR (UC)	-	-	553	489	188	119
pH	7,27	7,06	6,97	6,86	6,75	6,68

PRUEBAS DE JARRAS NOVIEMBRE 08, 2014						
TURBIEDAD AGUA CRUDA= 774 NTU						
PARAMETROS	DOSIS mg/l					
	45	50	55	60	65	70
TURBIEDAD (NTU)	7,18	4,91	3,57	2,19	3,69	4,51
COLOR (UC)	123	116	101	81	117	103
pH	7,44	7,2	7,03	6,9	6,73	6,72

ANEXO 13

Resultados de los ensayos de las Pruebas de Jarras para la determinación de la dosis optima de polímero.

Dosis Optima de Polímero					
TURBIEDAD AGUA CRUDA (NTU)					11
Jarra	1	2	3	4	5
Dosis (mg/l)	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125
Volumen Polímero (cm ³)	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Turbiedad (NTU)	2,66	1,86	1,68	1,76	1,9
Color (UC)	27	39	36	38	40

Dosis Optima de Polímero					
TURBIEDAD AGUA CRUDA (NTU)					21
Jarra	1	2	3	4	5
Dosis (mg/l)	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125
Volumen Polímero (cm ³)	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Turbiedad (NTU)	4,9	3,86	2,2	2,35	3,08
Color (UC)	59	39	31	36	40

Dosis Optima de Polímero					
TURBIEDAD AGUA CRUDA (NTU)					43
Jarra	1	2	3	4	5
Dosis (mg/l)	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125
Volumen Polímero (cm ³)	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Turbiedad (NTU)	6,61	4,7	3,58	4,02	5,8
Color (UC)	79	51	57	60	63

ANEXO 14

Especificaciones de equipo HACH

Especificaciones

Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

Especificación	Detalles
Dimensiones (An x Pr x Al)	37 x 30 x 170 mm (1,45 x 1,18 x 6,69 pulg)
Grado de protección	IP67
Peso	135 g (0,297 lb) con pilas
Requisitos de alimentación (Interna)	Pilas alcalinas AAA (4)
Duración de las pilas	450 horas
Temperatura de funcionamiento	0 a 50 °C (32 a 122 °F)
Temperatura de almacenamiento	-20 a 60 °C (-4 a 140 °F)
Humedad de funcionamiento	80% (sin condensación)
Altitud	2000 m (6562 pies)
Intervalo del Instrumento	TDS _{LR} : de 0 a 1999 ppm; TDS _{HR} : de 0 a 10,00 ppt
Resolución	TDS _{LR} : 1 ppm; TDS _{HR} : 0,1 ppt
Precisión	TDS _{LR} : ±1% FS ¹ ; TDS _{HR} : ±2% FS
Puntos de calibración	TDS _{LR} : 2 puntos (automático), 1 punto (personalizado); TDS _{HR} : 1 punto (automático y personalizado) <i>Nota: La calibración de temperatura no está disponible.</i>
Estándares de calibración de reconocimiento automático	TDS _{LR} : 147 µS/cm y 1413 µS/cm; TDS _{HR} : 12,88 mS/cm
Certificaciones	Sello CE
Garantía	Sólo 1 año por los defectos de fabricación. No cubre los daños derivados del uso del producto.

¹ Basado en una calibración de 2 puntos y el intervalo de TDS de los estándares de calibración incluye el valor de TDS de la muestra de agua.

Información general

En ningún caso el fabricante será responsable de ningún daño directo, indirecto, especial, accidental o resultante de un defecto u omisión en este manual. El fabricante se reserva el derecho a modificar este manual y los productos que describen en cualquier momento, sin aviso ni obligación. Las ediciones revisadas se encuentran en la página web del fabricante.

Información de seguridad

AVISO

El fabricante no es responsable de ningún daño debido a un mal uso de este producto incluyendo, sin limitación, daños directos, fortuitos o circunstanciales y reclamos sobre los daños que no estén recogidos en la legislación vigente. El usuario es el responsable de la identificación de los riesgos críticos y de tener los mecanismos adecuados de protección de los procesos en caso de un posible mal funcionamiento del equipo.

Lea todo el manual antes de desembalar, instalar o trabajar con este equipo. Ponga atención a todas las advertencias y avisos de peligro. El no hacerlo puede provocar heridas graves al usuario o daños al equipo.

Asegúrese de que la protección proporcionada por el equipo no está dañada. No utilice ni instale este equipo de manera distinta a lo especificado en este manual.

ANEXO 15

Registro Fotográfico.



15A: Colocación de las compuertas en los canales de los floculadores



15B:

Sistema de dosificación



15C: Equipo HACH medidor de Sólidos Disueltos Totales (STD)



15D: Número de tubo



15E: Compuertas en funcionamiento



15F: Tuberías de captaciones de agua



15G: Equipo dosificador instalado y en funcionamiento



15H: Tablas de dosificación ubicadas en el laboratorio de control



15I: Salida del sedimentador.

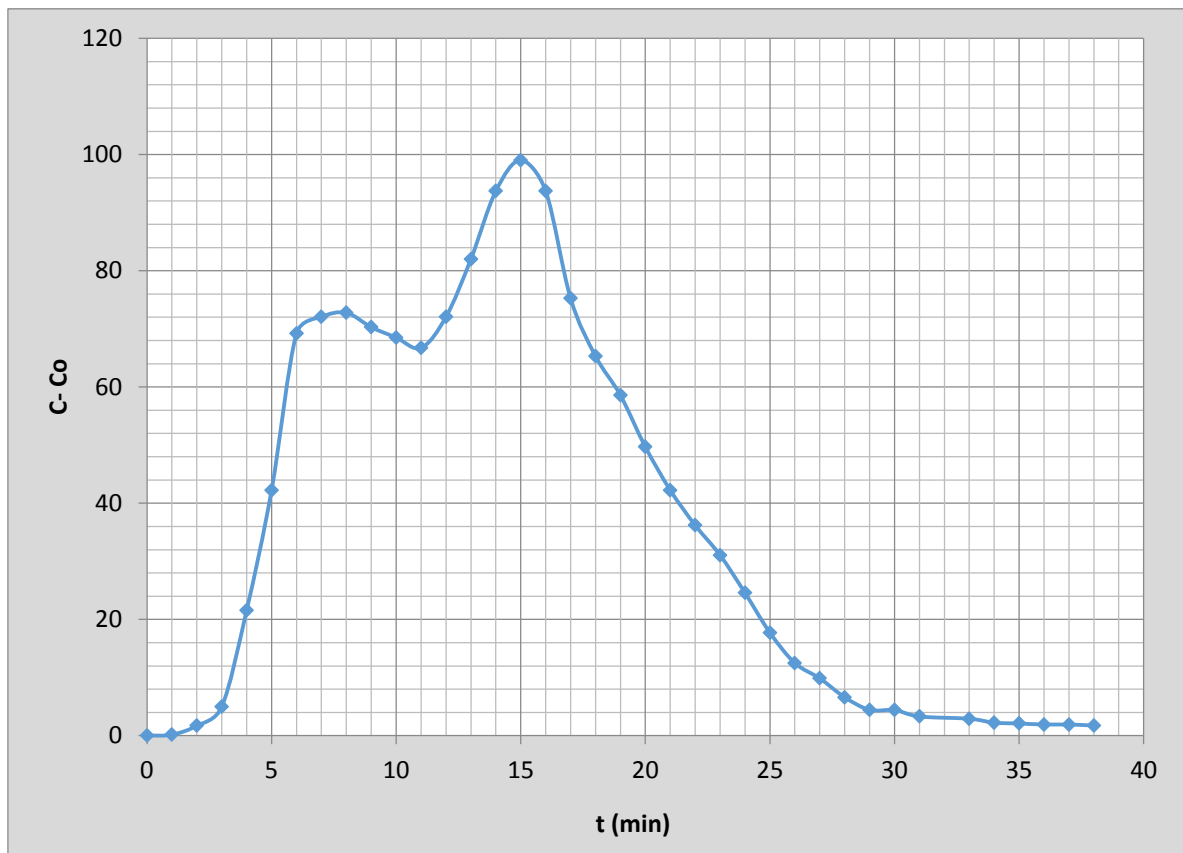
ANEXO 17

Evaluación del tiempo de retención con un caudal de 16 l/s.

Evaluación								
Floculador 1					Fecha		12/12/2014	
Volumen Floculador:		12,74	m3		Tiempo de Retención		to	13,3 min
Caudal de Prueba:		16	l/s					
Concentración Inicial:			39,8					
Muestra	t	K	C	t/to	C-Co	$\Sigma(C-Co)$	F(t)	1-F(t)
0	0	112	39,8	0	0	0	0	100
1	1	112,5	39,9	0,08	0,2	0,2	0,008562	99,991
2	2	116,8	41,5	0,15	1,7	1,9	0,09076	99,909
3	3	126	44,7	0,23	5,0	6,9	0,330502	99,669
4	4	172,8	61,3	0,30	21,6	28,4	1,371669	98,628
5	5	231	82,0	0,38	42,2	70,7	3,40948	96,591
6	6	307	109,0	0,45	69,2	139,9	6,74875	93,251
7	7	315	111,8	0,53	72,1	212,0	10,22502	89,775
9	8	317	112,5	0,68	72,8	392,0	18,90712	81,059
11	9	310	110,1	0,76	70,3	549,6	26,51038	73,442
13	10	305	108,3	0,85	68,5	694,8	33,51428	66,425
15	11	300	106,5	0,93	66,7	829,0	39,98733	59,940
17	12	315	111,8	1,02	72,1	969,5	46,76861	53,147
19	13	343	121,8	1,10	82,0	1128,6	54,44037	45,461
21	14	376	133,5	1,19	93,7	1324,5	63,89307	35,991
23	15	391	138,8	1,27	99,0	1524,8	73,55127	26,315
24	16	376	133,5	1,36	93,7	1618,5	78,07213	21,786
25	17	324	115,0	1,44	75,3	1693,7	81,70251	18,149
26	18	296	105,1	1,36	65,3	1759,1	84,85341	15,147
27	19	277	98,3	1,43	58,6	1817,6	87,67895	12,321
28	20	252	89,5	1,51	49,7	1867,3	90,07638	9,924
29	21	231	82,0	1,58	42,2	1909,6	92,11419	7,886
30	22	214	76,0	1,66	36,2	1945,8	93,86088	6,139
31	23	199,5	70,8	1,73	31,1	1976,9	95,35927	4,641
32	24	181,2	64,3	1,81	24,6	2001,4	96,54428	3,456
33	25	161,9	57,5	1,88	17,7	2019,1	97,39879	2,601
34	26	147,2	52,3	1,96	12,5	2031,6	98,00158	1,998
35	27	139,8	49,6	2,03	9,9	2041,5	98,47764	1,522
36	28	130,6	46,4	2,11	6,6	2048,1	98,79615	1,204
37	29	124,5	44,2	2,19	4,4	2052,5	99,01021	0,990
38	30	124,4	44,2	2,26	4,4	2056,9	99,22255	0,777
39	31	121,3	43,1	2,34	3,3	2060,2	99,38181	0,618
40	33	120,2	42,7	2,49	2,9	2063,2	99,52223	0,478
41	34	118,3	42,0	2,56	2,2	2065,4	99,63011	0,370
42	35	117,9	41,9	2,64	2,1	2067,5	99,73115	0,269
43	36	117,4	41,7	2,71	1,9	2069,4	99,82362	0,176
44	37	117,4	41,7	2,79	1,9	2071,3	99,91609	0,084
45	38	116,9	41,5	2,86	1,7	2073,1	100	0

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con los resultados obtenidos se puede obtener una curva de concentración contra tiempo la cual se muestra a continuación:



Obtenido el gráfico, determinamos el tiempo de retención real de **15 min**, con la concentración máxima de la evaluación