

**IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UNATORRE DE
SEDIMENTACIÓN EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA
UNIVERSIDAD DE NARIÑO**



**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2014**

**IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UNA TORRE DE
SEDIMENTACIÓN EN EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA
UNIVERSIDAD DE NARIÑO**

**BENAVIDES GETIAL JEFFERSON ANDRES
ORTIZ VIVEROS LEYDY YOHANA**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título como
Ingeniero Civil**

**DIRECTOR:
ING. JAIME INSUASTY ENRIQUEZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2014**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

“La Universidad de Narino no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicacion priman las normas sobre el derecho del autor”

Articulo 1 del acuerdo N° 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño

Acuerdo numero 005 del 26 de enero de 2010, por el cual se deroga el AcuerdoNo.043 del 30 de abril de 2002 y se adopta la nueva reglamentación de trabajo de grado para los programas de Ingenieria Civil, Ingenieria de Sistemas, Ingenieria Electronica y los demás que administre la Facultad de Ingenieria en el futuro.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto, Junio 01 2014

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresen su agradecimiento a:

ING. JAIME INSUASTY. Ingeniero civil y director de trabajo de grado por su colaboración, asesoría y atención.

ING. JAMES ROSERO. Ingeniero civil y revisor de trabajo de grado por su tiempo y atención.

ING. JAVIER VILLOTA. Ingeniero civil y revisor de trabajo de grado por su tiempo y atención.

ING. DORIS MARTINEZ. Ingeniera civil y revisora de trabajo de grado por su tiempo, asesoría y atención.

ING. GUILLERMO MUÑOZ. Ingeniero civil, por su dedicación a la Facultad de Ingeniería Civil.

Agradezco a Dios y la Virgen María por iluminarme en esta meta lograda. A mis padres ejemplares Alirio Ortiz, Flor Viveros y Ritha por apoyarme y confiar en mí, A Harvin y Valentina por ser Ellos la inspiración de mi vida. A mis hermanos por brindarme su cariño y alegría. A mis maestros gracias por su enseñanza. A mis familiares y amigos gracias por brindarme su amistad y colaboración.

Leydy Yohana Ortiz Viveros

Agradezco a Dios por permitirme vivir y estar donde me encuentro siendo mi pilar principal, A mi familia por siempre haber creído en mi; mi papa Marco Alirio Benavides, mi mama Ritha Irene Getial y mi hermano JhonJairo Bevanides por ser mi fortalezaymi guía a lo largo de todos estos años y haberme apoyado a lo de todos estos años en los buenos y malos momentos.

Jefferson Andres Benavides Getial

RESUMEN

El presente trabajo de grado consiste en la implementación de una torre de sedimentación por parte de los investigadores a los laboratorios de hidráulica de la Universidad de Nariño, realizando previamente el diseño del equipo partiendo de una torre en condiciones técnicas similares para su posterior elaboración en los parámetros establecidos en su dimensionamiento como lo fueron principalmente en los grifos los diámetros y altura de salida del agua; y con respecto a la torre el material, diámetro interno y la longitud de la misma.

En segunda instancia se presentó una calibración con respecto a una torre de sedimentación en adecuado funcionamiento. Por medio de ensayos de laboratorio tomando como referencia el agua de la fuente ubicada en la Universidad Mariana. Para dichos ensayos fue necesario realizar la determinación de la dosificación óptima de coagulante la cual fue realizada a través del ensayo de Jarras. Luego con este resultado se procedió a realizar el ensayo de sedimentación convencional tanto en la torre estándar como en la torre a implementar, teniendo en cuenta que las condiciones iniciales del agua a tratar como turbiedad, PH y temperatura eran las mismas para los ensayos en ambos equipos. Al final se observó que en el procesamiento de datos obtuvo resultados muy similares entre las torres comparadas.

Finalmente, al constatar que el equipo se encuentra en adecuado funcionamiento arrojando datos confiables se procedió a realizar el protocolo para el manejo adecuado del equipo en cuanto al ensayo de laboratorio denominado sedimentación convencional en columna de sedimentación. Para ello se realizó una serie de ensayos variando las condiciones iniciales del agua.

Para así concluir en una guía que estandarice de la mejor forma el desarrollo de la práctica con el equipo implementado.

ABSTRACT

This work consists of the implementation degree of settling tower by researchers hydraulic laboratories of the University of Nariño, previously done by the design team of a tower based on similar technical conditions for further processing in parameters of their sizing as they were mainly in height and diameter taps water outlet; and with respect to the tower material, internal diameter and length thereof.

Secondly calibration is presented with respect to a settling tower working properly. Through laboratory tests with reference the water stream. For these trials, there was the need for determining the optimal dosage of coagulant which was done through trial jar. After this result we proceeded to perform the test conventional sedimentation both standard tower and the tower to implement, considering that the initial conditions of the water to be treated as turbidity , pH and temperature were the same for trials in both equipment . In the end it was observed that in processing data obtained very similar results compared between the towers.

Finally finding that the equipment is working properly yielding reliable data proceeded with the protocol for the proper management of the team in terms of laboratory test called conventional sedimentation settling column. For this series of tests were conducted by varying the initial conditions of the water.

To so conclude a guide to standardize the development of best practice with the team implemented.

CONTENIDO

	Pág.
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1 SEDIMENTACIÓN	17
1.2 SEDIMENTACIÓN Y FILTRACIÓN	17
1.3 PROCESOS PARA OBTENER LA REMOCIÓN.	18
1.3.1 Sedimentación de partículas discretas	19
1.3.2 Sedimentación de partículas floculentas	19
1.3.3 Sedimentación por caída libre e interferida o zonal.	20
1.3.4 Sedimentación por compresión	20
1.4 EXPRESIONES DE VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN	20
1.4.1 Partículas discretas con caída libre	20
1.5 VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO O SEDIMENTACIÓN.	22
1.6 SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS FLOCULENTAS	24
1.7 SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS FLOCULENTAS CON CAÍDA LIBRE.	25
2. METODOLOGÍA	27
3. RESULTADOS Y ANALISIS	41
3.4 ANALISIS DE RESULTADOS	71
4. CONCLUSIONES	74
5. RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFIA.....	77

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Representación gráfica de los tipos de sedimentación predominantes	19
Figura 2. Fenómeno de sedimentación de partículas discretas por caída libre	21
Figura 3. Clasificación de Floculos.....	24

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Imagen 2.1 Alumbre tipo "B"	28
Imagen 2.2 Preparación del coagulante.	29
Imagen 2.3 Toma de muestra	29
Imagen 2.4 Ubicación de la toma de la muestra.....	30
Imagen 2.5 Medida de turbidez	30
Imagen 2.6 Medida de PH y T°	31
Imagen 2.7 Adición de coagulante	32
Imagen 2.8 Mezcla rápida y lenta.....	32
Imagen 2.9 Tiempo de sedimentación.....	33
Imagen 2.10 Toma de muestra	34
Imagen 2.11 Adición de coagulante	35
Imagen 2.12 Mezcla rápida y mezcla lenta.....	36
Imagen 2.13 Llenado de columna	37
Imagen 2.14 Toma de muestras.....	37
Imagen 2.15 Sedimentación.....	38
Imagen 2.16 Descarga de la torre de sedimentación.	39
Imagen 2.17 Localización de la toma de muestra.....	40

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A Determinación de las dosis óptimas de coagulante	79
ANEXO B Ensayos de comparación de las torres de sedimentación.....	82
ANEXO C Determinación de las dosis óptimas de coagulante para las distintas concentraciones de coagulante empleadas en los distintos ensayos.....	93
ANEXO D Ensayos realizados en la torre de sedimentación.....	100
ANEXO E Registro de trazado de curvas de isoremoción.....	131
ANEXO F Protocolos del ensayo de Torres de sedimentación.....	140

INTRODUCCIÓN

La presente propuesta de investigación consiste en la elaboración del equipo de pruebas denominado torre de sedimentación para los laboratorios de hidráulica de la Universidad de Nariño, el cual permite determinar la sedimentación de un fluido en condiciones determinadas del agua, para a su vez calcular el porcentaje de remoción total.

“Uno de los procesos más ampliamente usados en el tratamiento de agua es la sedimentación. Se entiende por sedimentación a la remoción, por efecto gravitacional de las partículas en suspensión, en un fluido y que tengan peso específico mayor que el fluido”¹.

La importancia del estudio de la sedimentación para plantas de potabilización radica principalmente en que los sedimentadores son parte significativa en los procesos de potabilización del agua y en la construcción posterior de las obras civiles correspondientes que permiten obtener una buena calidad de agua.

Así la presente propuesta pretende implementar el equipo de sedimentación el cual incluye tanto el diseño basado en consideraciones teóricas pertinentes a estudios realizados correspondiendo al tema de potabilización y sedimentación del agua como también la fabricación del aparato partiendo de su diseño

Continuando con el desarrollo del proyecto se plantea realizar al equipo una serie de ensayos para su calibración y así obtener un equipo con un óptimo funcionamiento para finalmente elaborar unos protocolos para el manejo de aparato como guía del ensayo.

¹ SALAZAR CANO, Roberto Sistemas de potabilización de agua. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería, 2012. p. 142.

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la Universidad de Nariño presenta deficiencias en cuanto a los aparatos necesarios para realizar los ensayos de laboratorio en materias presentes en el pensum de ingeniería civil, particularmente en la rama de hidráulica se tiene la necesidad de implementar equipos para el estudio de aguas estando estos correctamente calibrados y con sus respectivos protocolos.

De aquí surge la necesidad de elaborar la torre de sedimentación propuesta para el laboratorio de hidráulica para poder reforzar los conocimientos en el estudiante de ingeniería civil mediante el desarrollo de prácticas con el equipo.

Profundizando así en el estudio de la sedimentación ya sea discreta o floculenta temas ampliamente estudiados en materias del pensum de ingeniería civil como lo son mecánica de fluidos, hidráulica y plantas de potabilización.

Como también se podrá realizar estudios y análisis con el aparato de prueba de Jarras y compararlo con los resultados de la torre de sedimentación. Puesto que el proyecto para la adquisición del equipo para el ensayo de Jarras se encuentra en su etapa terminal para finalmente ser añadido al laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Nariño.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

De esta forma se plantea la necesidad de elaborar un equipo para posteriormente calibrarlo mediante una serie de ensayos para por finalmente realizar sus respectivos protocolos obteniendo una guía correspondiendo a su manejo, funcionamiento y la teoría de la sedimentación del aparato denominado Torre de Sedimentación.

SISTEMATIZACION DEL PROBLEMA

- ❖ ¿Es importante implementar una Torres de Sedimentación en el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad de Nariño?
- ❖ ¿Es necesario realizar una calibración al aparato implementado?
- ❖ ¿Los resultados esperados sirven como guía para el desarrollo de una planta de tratamiento?

JUSTIFICACIÓN

La rama de la hidráulica es de vital importancia para el ingeniero civil y como tal para el estudiante de ingeniería por esto es necesario que como institución la Universidad de Nariño brinde las suficientes herramientas para la adecuada capacitación del mismo. Sin embargo los laboratorios presentan deficiencia en cuanto a los aparatos necesarios para complementar la enseñanza con ensayos prácticos de laboratorio.

Por medio de este trabajo de grado se busca implementar un equipo de torre de sedimentación a los laboratorios de la Universidad. Para lograr diversos beneficios tanto para la institución como para el estudiante.

En mayor grado de importancia se mejorará la calidad de las materias de la rama de aguas del pensum puesto que se podrá comprobar la teoría expuesta en el programa de las materias anteriormente mencionadas.

Esto además de traer ventajas académicas mejorará significativamente la capacidad operativa del laboratorio de hidráulica de la Universidad de Nariño puesto que se podrá contar con un nuevo equipo; logrando realizar uno de los ensayos básicos para el diseño y control de plantas de tratamiento de agua potable.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ❖ Implementar una torre de sedimentación para realizar el ensayo de sedimentación en el laboratorio de hidráulica de la Universidad de Nariño

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Elaborar el equipo mediante consideraciones técnicas pertinentes para su correcto funcionamiento como lo son dimensiones, forma, materiales, etc.
- ❖ Realizar los ensayos de calibración del equipo, tomando como referencia una Torre estándar con las mismas características técnicas.
- ❖ Establecer el protocolo para realizar el ensayo de sedimentación en la torre Implementada para el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 SEDIMENTACIÓN

La sedimentación se utiliza en los tratamientos de aguas para separar los sólidos de suspensión de las mismas. La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran. En algunos casos, la sedimentación es el único tratamiento al que se somete el agua residual. Lo cual puede producirse en una o varias etapas o en varios de los puntos de los procesos de tratamiento².

Otros trabajos de tesis se establecen qué; La sedimentación es una operación unitaria comúnmente usada en el tratamiento de aguas residuales como de agua potable. “Los parámetros de diseño de sedimentadores se obtienen de ensayos realizados en columnas de sedimentación considerando diversas aproximaciones teóricas”.³

“En conclusión se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las Partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido”.³

1.2 SEDIMENTACIÓN Y FILTRACIÓN

“La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve aquellas partículas que tienen una densidad muy cercana a la del agua o que han sido resuspendidas y, por lo tanto, no pudieron ser removidas en el proceso anterior”⁴

² RAMALHO, R.S Tratamiento de aguas residuales. Edición revisada. London: Reverté S.A, p. 92, Edición original en lengua inglesa publicada por: AcademicPress, Inc. (London) LTD. Título de la obra original Introduction to Wastewater Treatment Processes, Second edition. Versión española por: JIMÉNEZ BELTRÁN, Domingo; DE LORA, Federico y SETTE RAMALHO, Rubens. Disponible en Internet: books.google.com.co/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=frontcover&hl=es&source=gs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false [citado octubre 20 de 2013]. p. 92

³ VILLACRESES, JA; VEGA, JC; y MATAMOROS, D. Evaluación de dos casos de estudio del fenómeno de sedimentación en el tratamiento del agua. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra: s.f. Disponible en Internet: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/160/1/233.pdf> [citado en octubre 22 de 2013]. p. 1

⁴ MALDONADO YACTAYO, Víctor. Tratamiento de aguas para consumo humano: plantas de filtración rápida, manual I, teoría tomo II. Lima: s.n. 2004. p. 3

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua. Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final será siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada.⁵

1.3 PROCESOS PARA OBTENER LA REMOCIÓN.

La remoción de partículas en suspensión en el agua puede conseguirse por: “Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Es así que se puede referir a la sedimentación de partículas discretas, sedimentación de partículas floculentas y sedimentación de partículas por caída libre e interferida”.⁶

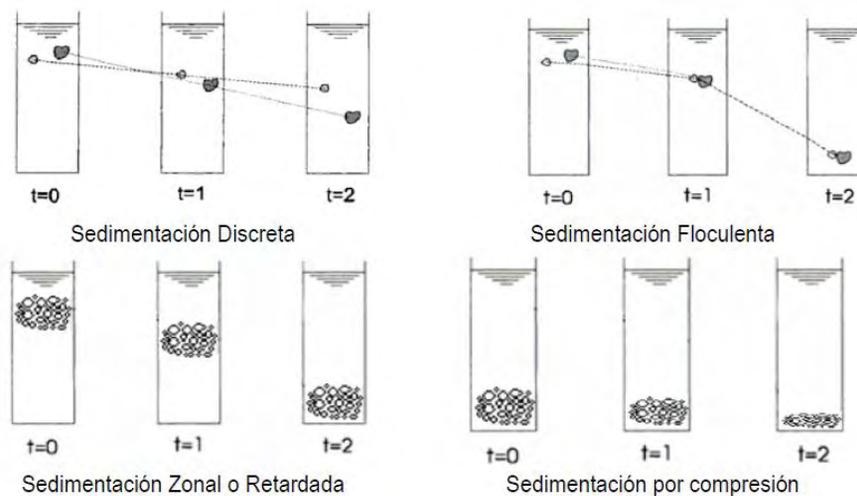
- Sedimentación discreta
- Sedimentación floculenta
- Sedimentación por caída libre e interferida o Zonal
- Sedimentación por compresión

A continuación se pueden observar los tipos de sedimentación en la figura No.1

⁵ Ibíd.

⁶ Ibíd.

Figura 1. Representación gráfica de los tipos de sedimentación



Fuente: SPERLING, Marcos Von. Biological wastewater treatment, Vol 2, Basic principles of.Wastewatertreatment. London: Publishedby IWA, 2007. Adaptada a influencia de la clarificación primaria sobre la dinámica de los sólidos en un sistema de lodos activados bajo la modalidad de estabilización por contacto BERMÚDEZ ARROYO, John Albert yCÁRDENAS URBANO, Cristian David. Trabajo de Grado. [Ingeniero Civil] Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, escuela de los recursos naturales y del ambiente, Area académica de ingeniería sanitaria y ambiental: Santiago de Cali, 2011.

1.3.1 Sedimentación de partículas discretas. “Se llama partículas discretas a aquellas partículas que no cambian de características (Forma, tamaño, densidad) durante la caída. Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Este tipo de partículas y esta forma de sedimentación se presentan en los desarenadores, en los sedimentadores y en los presedimentadores como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta”.⁷

1.3.2 Sedimentación de partículas floculentas. “Son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas —forma, tamaño, densidad— sí cambian durante la caída. Se denomina sedimentación floculenta o decantación al proceso de depósito de partículas floculentas. Este tipo de sedimentación se presenta en la

⁷ Ibíd.

clarificación de aguas, como proceso intermedio entre la coagulación-floculación y la filtración rápida”⁸.

1.3.3 Sedimentación por caída libre e interferida o zonal. “Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, éstas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio, cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida o sedimentación zonal.⁴ Cuando las partículas ya en contacto forman una masa compacta que inhibe una mayor consolidación, se produce una compresión o zona de compresión. Este tipo de sedimentación se presenta en los concentradores de lodos de las unidades de decantación con manto de lodos”.⁹

1.3.4 Sedimentación por compresión. “Ocurre un aumento en el peso de las partículas, por efecto de la trayectoria descendente y el encuentro entre las mismas. Parte del contenido de agua es evacuado por la masa de lodo, favoreciendo la disminución su volumen”.¹⁰

1.4 EXPRESIONES DE VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

1.4.1 Partículas discretas con caída libre. La sedimentación discreta ha sido mayormente estudiada pues se ajusta a los principios de igualdad de fuerzas. Así cuando una partícula cae, la fuerza que le permite caer, es la diferencia entre la fuerza gravitacional que la empuja hacia abajo y la fuerza que ejerce el peso del volumen del líquido y que la empuja hacia arriba conocida como principio de Arquímedes. A medida que la partícula desciende la velocidad de la misma aumenta. Sin embargo, al tiempo se crea una fuerza de roce que cuando es igual a la fuerza gravitacional de la partícula la velocidad de asentamiento de la partícula es la velocidad límite V_s , que es constante durante el resto del proceso del descenso.

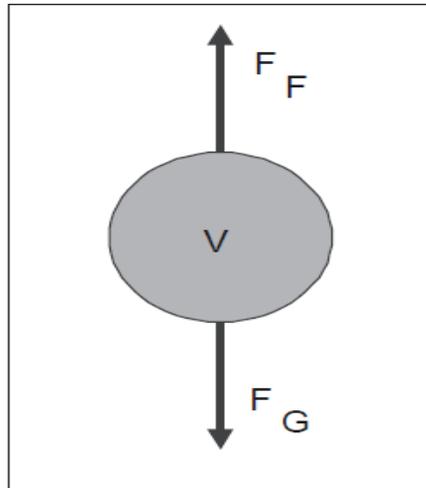
⁸ Ibíd.

⁹ Ibíd.

¹⁰ BERMÚDEZ ARROYO, John Albert y CÁRDENAS URBANO, Cristian David. Trabajo de Grado. [Ingeniero Civil] Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, escuela de los recursos naturales y del ambiente, Area académica de ingeniería sanitaria y ambiental: santiago de cal, 2011. Disponible en Internet: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/4156/4/CB-0439283.pdf>, [citado 10 de septiembre de 2013]. p. 9

“El fenómeno de sedimentación de partículas discretas por caída libre, también denominado en soluciones diluidas, puede describirse por medio de la mecánica clásica”¹¹.

Figura 2. Fenómeno de sedimentación de partículas discretas por caída libre



Fuente: MALDONADO YACTAYO, Víctor. Tratamiento de aguas para consumo humano: plantas de filtración rápida, manual I, teoría tomo II. Lima: s.n. 2004. p.10.

En este caso, la sedimentación es solamente una función de las propiedades del fluido y las características de las partículas según se demuestra a continuación. “En el caso de una partícula que se deja caer en el agua. Esta partícula estará sometida a dos fuerzas (Figura 2): fuerza de flotación (FF), que es igual al peso del volumen del líquido desplazado por la partícula (Principio de Arquímedes), y fuerza gravitacional (FG).”¹²

Si:

$$FF = \rho \cdot g \cdot V \quad \text{EC.1.1}$$

$$FG = \rho_s \cdot g \cdot V \quad \text{EC.1.2}$$

Donde:

ρ = densidad del líquido
 ρ_s = densidad del sólido
 V = volumen de la partícula

¹¹ MALDONADO YACTAYO, Op. Cit.

¹² Ibíd.

De la acción de ambas fuerzas se obtiene la fuerza resultante, que será igual a la diferencia de estos dos valores y estará dada por:

$$F_i = g \cdot V \cdot (\rho_s - \rho) \quad \text{EC.1.3}$$

Donde:

F_i = fuerza resultante o fuerza de impulsión.

Arrastrada por esta fuerza (F_i), la partícula desciende con velocidad creciente, pero a medida que baja, la fricción que el líquido genera en ella crea una fuerza de roce definida por la Ley de Newton, cuyo valor es:

$$F_R = C_D \cdot A \cdot \rho \cdot V_s^2 / 2 \quad \text{EC.1.4}$$

Donde:

F_R = fuerza de rozamiento

$V_s^2 / 2$ = energía cinética

A = área transversal al escurrimiento

V_s = velocidad de sedimentación

C_D = coeficiente de arrastre

1.5 VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO O SEDIMENTACIÓN.

El principio cuya expresión se denomina Ley de Stokes es la base para diseñar unidades de sedimentación, en el cual se selecciona una partícula con velocidad Terminal V_s y se diseña el sedimentador de forma que todas las partículas que tengan una velocidad igual o mayor que V_s se puedan remover. Así la tasa a la cual se va obtener agua clarificada del sedimentador diseñado con el principio anterior, denominada tasa de sedimentación o carga superficial, es igual a la velocidad de sedimentación.¹³

Después de un corto periodo, la aceleración pasa a ser nula y el valor de la fuerza de fricción (F_R) iguala a la de impulsión (F_i), momento en el cual la partícula adquiere una velocidad constante.

En ese momento se cumple que (6.3) y (6.4) son iguales; por lo tanto:

$$g \cdot V \cdot (\rho_s - \rho) = C_{D..} \cdot A \cdot \frac{V_s^2}{2} \quad \text{EC. 1.5}$$

¹³ Ibíd.

Despejando el valor de V_s se obtiene.

$$V_s = \sqrt{\frac{2g}{C_D} \cdot \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} \cdot \frac{V}{A}} \text{ EC. 1.6}$$

Para el caso en particular de partículas esféricas.

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad V = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \text{ EC. 1.7}$$

Donde:

d = Diámetro de la partícula.

$$\frac{V}{A} = \frac{2}{3}d \text{ EC. 1.8}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} \cdot d} \text{ EC. 1.9}$$

En la cual:

V_s = velocidad de sedimentación

d = diámetro de la partícula

g = aceleración de la gravedad

ρ_s = densidad de la partícula

ρ = densidad del fluido

C_D = coeficiente de arrastre de Newton es una función del Número de Reynolds y de la forma de las partículas

$$C_D = a \cdot R_e^{-n} \text{ EC. 1.10}$$

Donde:

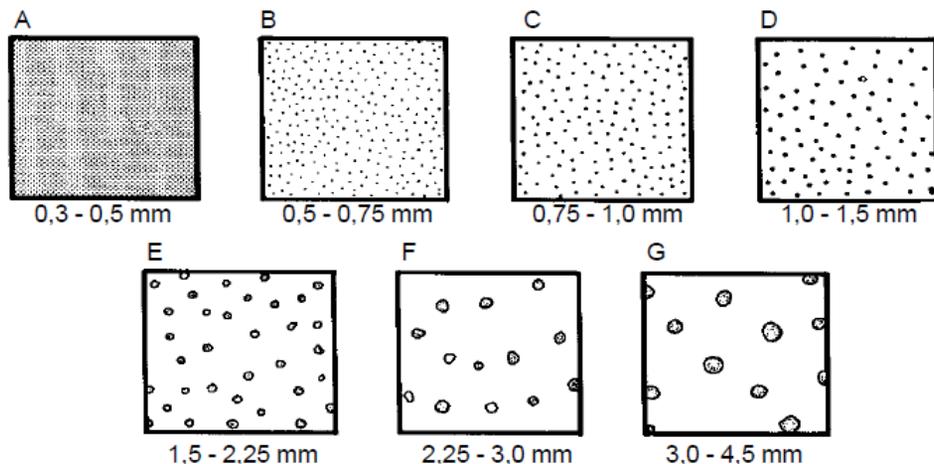
a = constante específica

Re = número de Reynolds

1.6 SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS FLOCULENTAS

Las partículas que se remueven en una planta de tratamiento de agua son sólidos inorgánicos y orgánicos. Los factores primordiales que influyen en la velocidad de sedimentación son su tamaño, forma y densidad. La materia en suspensión que origina la turbiedad consiste principalmente en sílice finamente dividida, arcilla y limo. La densidad original de las partículas es cercana a 2,60. El color, en cambio, es producido principalmente por ácidos orgánicos (fúlvicos, húmicos, etc.) de origen vegetal con densidades variables de 1 a 1,5 dependiendo de su concentración. Las partículas se presentan principalmente en estado coloidal y es necesario añadirles coagulantes químicos y someterlas a procesos de coagulación y floculación para incrementar su tamaño o densidad antes del proceso de sedimentación. Las partículas en suspensión de aguas tratadas con coagulantes, consisten en flóculos formados por óxidos metálicos (Al_2O_3 ó Fe_2O_3) agua en 85 a 95% y turbiedad y/o color con densidades variables entre 1,002 cuando predomina el color y 1,03 cuando predomina la turbiedad. En procesos de ablandamiento los flóculos tienen densidades cercanas a 1,20. El diámetro de los flóculos es variable desde menos de 0,001 mm hasta más de 5 mm, dependiendo de las condiciones de mezcla y floculación (gradientes de velocidad y tiempo de retención). Willcomb clasifica los flóculos por su tamaño, tal como se indica en la Figura 3.14

Figura 3. Clasificación de Floculos



Fuente: MALDONADO YACTAYO, Víctor. Tratamiento de aguas para consumo humano: plantas de filtración rápida, manual I, teoría tomo II. Lima: s.n. 2004. p.10.

¹⁴ Ibíd.

La velocidad de sedimentación de suspensiones floculentas depende de las características de las suspensiones, así como de las características hidráulicas de los sedimentadores y de la presentación de procesos concomitantes: floculación por diferencia de velocidades de sedimentación de los flóculos, influencia de turbulencia y variación de gradientes de velocidad, factores que imposibilitan la preparación de un modelo matemático general. Por este motivo se recurre a ensayos en laboratorio o plantas piloto con el propósito de predecir las eficiencias teóricas remocionales en función de cargas superficiales o velocidades de sedimentación preseleccionadas. En ellos se deben tomar las siguientes precauciones¹⁵.

- Que la muestra de la suspensión sea representativa
- Que se mantenga a igual temperatura.

1.7 SEDIMENTACIÓN DE PARTÍCULAS FLOCULENTAS CON CAÍDA LIBRE.

Si en una suspensión se tiene una concentración (1-C) de partículas que tienen una velocidad de sedimentación V_s , la proporción adicional de partículas removidas que tiene una velocidad de sedimentación V_s será:¹⁶

REMOCIÓN A VELOCIDAD V_s

$$R = \frac{1}{V_s} \int_0^{C_0} C_0 V \cdot dC \quad \text{EC. 1.11}$$

➤ La remoción total será:

$$R_T = (1-C) + \frac{1}{V_s} \int_0^{C_0} C_0 V \cdot dC \quad \text{EC. 1.12}$$

El segundo término de la Ecuación 6.12 se determina experimentalmente mediante columnas de sedimentación o el equipo modificado de prueba de Jarras. Se determinan las concentraciones del material en suspensión (C) cada cierto tiempo (t) y para una profundidad específica (h). Conociendo la concentración inicial (C_0) y la velocidad de sedimentación es posible obtener la eficiencia remocional.¹⁷

¹⁵ Ibíd.

¹⁶ Ibíd.

➤ El porcentaje de remoción será.

$$\%RT = R + \sum \frac{h_n}{H} * \Delta R \quad \text{EC. 1.13}$$

$$\%RT = R + \left[\frac{h1}{H} \Delta R1 + \frac{h2}{H} \Delta R1 + \frac{h3}{H} \Delta R1 + \dots + \frac{hn}{H} \Delta Rn \right] \quad \text{EC. 1.14}$$

Donde:

%RT=Porcentaje de remoción total

R= Curva de isoremoción evaluada a una profundidad h1 (%)

h= Profundidad media entre dos curvas

¹⁷ Ibíd.

2. METODOLOGÍA

2.1 CALIBRACIÓN DE LA TORRE

Se realizó para cada Torre de Sedimentación un ensayo que se presentan en el Anexo A con el fin de obtener la dosis óptima de coagulante a emplear en la torre de sedimentación los cuales fueron realizados mediante la prueba de Jarras para el agua del afluyente ubicado en la sede Alvernia de la Universidad Mariana. Un ensayo se realizó con el equipo de Jarras de la Universidad Mariana y el otro con el equipo de Jarras de la Universidad de Nariño para comprobar que dan resultados similares y así después solo trabajar con el equipo de la Universidad de Nariño para el desarrollo del trabajo de grado.

Ya obtenida la dosificación óptima de coagulante se procede a realizar 5 ensayos de sedimentación con la torre de sedimentación de la Universidad Mariana, los cuales se presentan en el Anexo B, simultáneamente se realizó cinco ensayos con la misma agua con características iguales ya que se tomaron las muestras en el mismo momento para no inducir a errores los cuales se presentan en el Anexo B.

Una vez realizados los 10 ensayos de sedimentación se comparó los resultados obtenidos y se estableció que los resultados son aproximadamente iguales, dando por terminado la etapa de calibración de la torre de sedimentación.

Número de ensayos

DETERMINACION DE DOSIFICACION ÓPTIMA DE COAGULANTE			
Orden de ensayos	numero de ensayos	fuelle analizada	APARATO DE LABORATORIO
Primero	1	Fuente Universidad Mariana-sede Alvernia	Torre de Sedimentación- Universidad Mariana
segundo	1		Torre de Sedimentación- Universidad de Nariño

Tabla No. 2.1 Número de ensayos - determinación de dosificación óptima de coagulante

ENSAYO DE SEDIMENTACION			
Orden de ensayos	numero de ensayos	fuelle analizada	APARATO DE LABORATORIO
Primero	5	Fuente Universidad Mariana-sede Alvernia	Torre de Sedimentación- Universidad Mariana
segundo	5		Torre de Sedimentación- Universidad de Nariño

Tabla No. 2.2 Número de ensayos –determinación de remoción total

2.1.1 Procedimiento para calibración.

Equipo utilizado: Para la determinación de dosificación de coagulante fue necesario el uso de los siguientes aparatos de laboratorio

- Beakers de 5ml
- Turbidímetro
- Termómetro
- PH-metro
- Equipo de Jarras

Se determinó la dosificación óptima de coagulante de la siguiente manera:

Coagulante utilizado: Alumbre tipo “B”

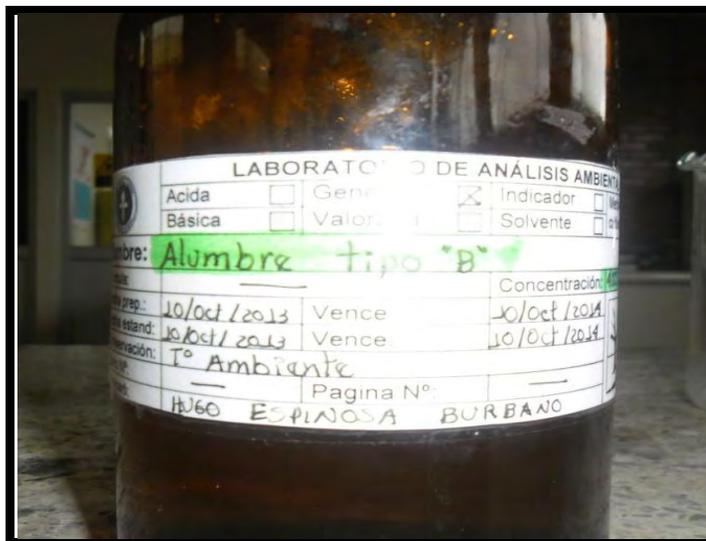


Imagen 2.1 Alumbre tipo “B”

Preparación de la concentración: Se tomó 2ml de alumbre tipo “B” y se aforo a 1lt de agua destilada, como se puede observar en la imagen 2.2.



Imagen 2.2 Preparación del coagulante.

Toma de muestra: Se recolectó la muestra representativa de aproximadamente 80 lt de la fuente de la Universidad Mariana para los cuatro ensayos de Jarras, como se puede observar en la imagen 2.3 y la imagen 2.4.



Imagen 2.3 Toma de muestra



Imagen 2.4 Ubicación de la toma de la muestra

Parámetro iniciales: Se debe tomar como parámetro inicial la turbiedad, pH, T°, para luego poder realizar el procesamiento de los cálculos y así poder comparar los resultados, se puede observar en la imagen 2.5 y la imagen 2.6 los equipos necesarios para realizar el ensayo.



Imagen 2.5 Medida de turbidez



Imagen 2.6 Medida de PH y T°

Obtención de volumen de solución madre: para cada jarra se debe obtener un volumen de solución de tal forma que estas este cercanas a 10,25,40 y 55 mg/L, para lo cual se debe tener en cuenta el volumen de la jarra y la concentración pura del coagulante Alumbre tipo “B” .

Para lo cual se emplea la siguiente ecuación.

$$C_1 = \frac{C_2 * V_2}{V_1} \text{ Ec. 2.1}$$

Dónde:

C_1 = Volumen del coagulante a disolver en cada jarra en [ml]

C_2 =Rango de Concentraciones del coagulante [ppm]

V_1 = Concentración de la solución madre [ppm]

V_2 =Volumen de la Jarra [ml]

Dosificación de las Jarras: se llena en 6 jeringas las concentraciones de coagulante a disolver, para luego introducir la solución al mismo instante en las Jarras correspondientes en un tiempo inicial al giro de las paletas, las cuales se colocan a giran de la siguiente manera:

- 100 rpm en t=20 seg → Simulación de mezcla rápida
- 40 rpm en t= 20 min → Simulación de mezcla lenta
- 0 rpm en t=20 min → Tiempo de sedimentación

En la imagen 2.7 se observa el equipo empleado para realizar el ensayo de dosificación óptima de coagulante.



Imagen 2.7 Adición de coagulante

Mezcla rápida, lenta y sedimentación: Luego de la adición de coagulante empleado a través de las jeringas, se coloca el equipo de Jarras a simular la mezcla rápida en un tiempo de 20 seg, mezcla lenta en un $t= 20\text{min}$ y sedimentación en un $t= 20\text{min}$. Como se observa en la imagen No.2.8 y en la imagen 2.9



Imagen 2.8 Mezcla rápida y lenta



Imagen 2.9 Tiempo de sedimentación

Toma de resultados: se toma la muestra de cada jarra como se indica en la imagen No.2.10, en un beaker de 50 ml, descartando los primeros 10 ml de muestra, se procede a medir la turbiedad y la muestra que obtenga la menor turbiedad es la concentración que dá una primera aproximación a la dosificación óptima de coagulante, Luego se repite el mismo proceso para tener una dosis óptima de coagulante que permita generar una menor turbiedad.



Imagen 2.10 Toma de muestra

Luego de haber determinado la dosis óptima de coagulante se procede a realizar la sedimentación convencional a través de la Torre de Sedimentación.

Especificaciones técnicas de la columna de sedimentación:

Datos de la columna de sedimentación	
Altura total de la torre de sedimentación	H = 1,80
Altura de la boquilla No 1	h1 = 10 cm
Altura de la boquilla No 2	h2 = 50 cm
Altura de la boquilla No 3	h3 = 90 cm
Altura de la boquilla No 4	h4 = 130 cm
diámetro interno	d=22 cm
material de elaboración	Acrílico

diámetro de salida de las boquillas
--

3/8 "

Tabla No.2.1 Especificaciones técnicas.

Equipo utilizado: Para la determinación de velocidad de sedimentación y % de remoción total fue necesario el uso de los siguientes aparatos de laboratorio

- Recipiente para mezclar los 50 litros
- Columna de sedimentación
- PH-metro
- Turbidímetro
- Cronometro
- Metro

Preparación de coagulante: Partiendo de la dosis óptima de coagulante la cual es para 2ls, se realiza una regla de tres simple para obtener la dosificación óptima para los 50ls de muestra.

Homogenización de la mezcla: Ya lista la dosis para adicionar, se mide los 50 litros de agua cruda en un recipiente muy bien aforado para evitar posibles errores, luego se adiciona el coagulante Alumbre tipo "B" como se indica en la imagen No.211



Imagen 2.11 Adición de coagulante

Mezcla rápida y mezcla lenta: partiendo de la adición del coagulante al agua cruda se procede a realizar la simulación de mezcla rápida de la siguiente manera

en un tiempo de 20s, con una paleta (tubo) a 100 rpm se revuelve la mezcla y de la misma manera para la mezcla lenta en un $t=20$ min se la revuelve a 40 rpm, en la Imagen No. 2.12 se observa lo anteriormente explicado.



Imagen 2.12 Mezcla rápida y mezcla lenta

Llenado de la muestra en la torre de sedimentación: Se introducen los 50 ls en la columna de sedimentación, como se indica en la imagen No.2.13 tratando que el llenado se realice homogéneamente introduciendo el agua por la parte central de la columna.



Imagen 2.13 Llenado de columna

Toma de muestras: Se realiza la toma de muestras en las cuatro boquillas para cada uno de los tiempos tabulados hasta completar el final de estos en este lapso de tiempo se observara la sedimentación de los flocs ya formados. Puesto que el agua se irá aclarando conforme transcurre el tiempo como se observa en las imágenes No 2.14 y 2.15



Imagen 2.14 Toma de muestras



Imagen 2.15 Sedimentación

Medición de parámetros: En cada tiempo tabulado se le debe medir turbiedad, pH, T° a cada muestra para luego poder obtener el cálculo de remoción total y así poder concluir sobre ella.

Descarga de la torre: colocando recipientes en una de las boquillas se genera la descarga de la torre de sedimentación como se indica en la imagen No.2.16 y posterior a ella se realiza un enjuague para evitar alteraciones en los siguientes ensayos.



Imagen 2.16 Descarga de la torre de sedimentación.

2.2 DESARROLLO DE ENSAYOS A FUENTE EL CUSCUNGO.

Al igual que en la calibración se toma la muestra en este caso de la fuente el Cuscungo de 12 ls para la prueba de Jarras y 50 ls para el ensayo de Torres de Sedimentación, luego se realiza el procedimiento anteriormente descrito en el numeral 2.1 de la metodología planteando un número de ensayos igual a 30 para dos temporadas como lo son invierno y verano ya que las turbiedades en estos dos casos son muy variables, para luego obtener sus resultados y analizarlos de acuerdo a la concentración adicionada ya que en temporada de verano se ha variado las concentraciones de la solución madre, al igual que en invierno, y así determinar la concentración con la mejor funciona la muestra. Debido que en algunos casos la velocidad de sedimentación es constante y en otros el resultado de la velocidad es mayor al igual que la formación de los flocs, por este motivo es muy importante la concentración del coagulante adicionado.

En la imagen No.2.17 se observa la ubicación de la fuente el Cuscungo.



Imagen 2.17 Localización de la toma de muestra

Se procedió a realizar los respectivos ensayos de acuerdo a la tabla No.2.2

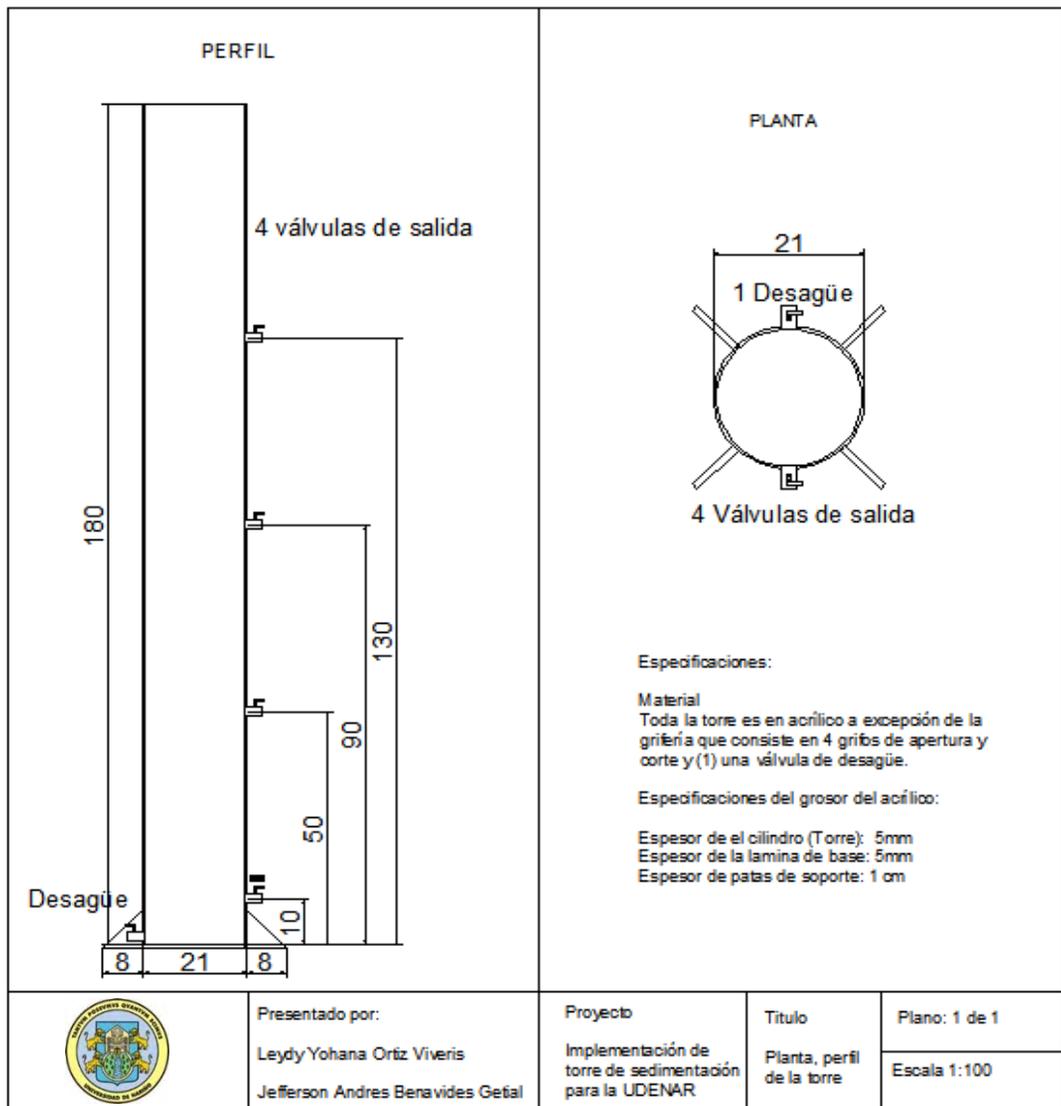
TEMPORADA	ORDEN DE ENSAYO	NUMERO DE ENSAYOS	CONCENTRACIONES
invierno	primero	5	3%
	segundo	5	4%
	tercero	5	5%
verano	cuarto	5	2%
	quinto	5	3%
	sexto	5	4%

Tabla No.2.2 Orden de ensayos

3. RESULTADOS Y ANALISIS

ESPECIFICACIÓN DE DISEÑO DE LA TORRE DE SEDIMENTACIÓN IMPLEMENTADA PARA LA UNIVERSIDAD DE NARIÑO

Como primer resultado al trabajo de grado se obtuvo la implementación de la Torre de Sedimentación, como primer objetivo desarrollado con las especificaciones que se indican en el siguiente plano.



Plano No.1 Especificaciones técnicas de la torre de sedimentación

Como se ha mencionado en la metodología en primera instancia se realizó la calibración a la torre de sedimentación realizando 10 ensayos los cuales se relacionan a continuación.

3.1 CALIBRACION DE LA TORRE DE SEDIMENTACION.

Se realizó para cada Torre de Sedimentación un ensayo que se presentan en el Anexo A, con el fin de obtener la dosis óptima de coagulante a emplear en la torre de sedimentación los cuales fueron realizados mediante la prueba de Jarras para el agua del afluente ubicado en la sede Alvernia de la Universidad Mariana. Un ensayo se realizó con el equipo de Jarras de la Universidad Mariana y el otro con el equipo de Jarras de la Universidad de Nariño para comprobar que dan resultados similares y así después solo trabajar con el equipo de la Universidad de Nariño para el desarrollo del trabajo de grado.

3.1.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO DE JARRAS: En la Tabla No. 3.1 se presenta un resumen de los ensayos de Jarras realizados tanto en la Universidad Mariana como en la Universidad de Nariño donde se presentó la dosificación óptima de coagulante

CALIBRACION DEL EQUIPO				
DOSIFICACION EMPLEADA EN LA CALIBRACION DE TORRES				
Fuente	Quebrada Universidad Mariana sede Alvernia			
Concentración diluida	4%			
Mezcla rápida rpm	100			
Mezcla Lenta rpm	40			
Dosificación obtenida para las Torres	Universidad De Nariño		Universidad Mariana	
	PARA 2L	PARA 50L	PARA 2L	PARA 50L
	25	625	25	625

Tabla No.3.1 Resultado ensayo de Jarras

Para los ensayos realizados en los cuadros anteriores se corrobora que no hay variación en cuanto a la dosificación y al volumen de solución madre.

3.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN LATORRE DE SEDIMENTACION: Ya obtenido la dosificación óptima de coagulante se realizó 5 ensayos de sedimentación con la torre de sedimentación de la Universidad Mariana los cuales se presentan en el Anexo B. Para cada ensayo se realizó un promedio el cual se refleja en la tabla No.3.1

Datos iniciales del agua	
Turbiedad (UNT):	38,3
pH:	8,22
Temperatura:	14°C

Tabla No.3.2 Parámetros iniciales del agua

% REMOCION DE TURBIEDAD -UNIVERSIDAD MARIANA								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	34,70	31,06	32,14	33,00	3,54	13,47	10,54	8,02
10	18,80	23,90	29,38	35,32	47,18	33,41	18,09	1,82
15	9,24	10,46	11,60	11,40	74,17	70,91	67,92	68,76
20	7,42	7,86	9,72	9,58	79,37	78,12	72,92	73,34
25	6,14	6,50	7,00	6,52	82,85	81,89	80,59	81,91
30	5,02	5,80	6,08	6,40	86,02	83,86	83,10	82,22
40	5,52	5,20	5,34	4,64	84,63	85,52	85,13	87,08
50	4,88	4,28	4,68	4,16	86,42	88,10	86,97	88,42
60	4,08	4,28	4,16	4,16	88,61	88,14	88,42	88,45
80	4,54	4,40	4,22	4,34	87,37	87,74	88,26	87,95
100	4,68	5,18	4,34	4,62	86,98	85,60	87,95	87,20
120	4,68	4,82	4,38	4,40	87,00	86,62	87,89	87,82

Tabla No.3.3 % Remoción de turbiedad

AJUSTE AL % DE REMOCION DE TURBIEDAD				
Tiempo (min)	h1	h2	h3	h4
5	3,54	13,47	10,54	8,02
10	47,18	33,41		
15	74,17	70,91	67,92	68,76
20	79,37	78,12	72,92	73,34
25	82,85	81,89	80,59	81,91
30	86,02	83,86	83,10	82,22
40		85,52	85,13	87,08
50		88,10	86,97	88,42
60	88,61	88,14	88,42	88,45

Tabla No.3.4 Ajuste al % de remoción de turbiedad

Curva de isoremoción: Es un instrumento más para la obtención de la remoción total en cualquier tiempo, tomando como parámetro inicial el ajuste al % de remoción de turbiedad para luego poder determinar los datos consignados en la Tablas No.3.5a , 3.5b, 3.5c. El trazado de las anteriores tablas se encuentra en el Anexo E

En este caso, se determinó el % de remoción total para los tiempos que se observan en las Tablas No. 3.5a, 3.5b y 3.5c

Determinación de remoción total en diferentes tiempos

Para t= 18 min					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,0445	87	100	93,5	0,030	2,77
0,089	85,5	87	86,25	0,049	4,26
0,075	83,5	85,5	84,5	0,042	3,52
0,242	80,5	83,5	82	0,134	11,02
0,2575	73	80,5	76,75	0,143	10,98
1,0915	70	73	71,5	0,606	43,36
1,8				TOTAL	75,92

Tabla No.3.5a. Remoción para t=18 min

Para t= 28 min					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,126	87	100	93,5	0,070	6,55
0,127	85,5	87	86,25	0,071	6,09
0,313	83,5	85,5	84,5	0,174	14,69
1,234	80,5	83,5	82	0,686	56,22
1,8				TOTAL	83,54

Tabla No.3.5b. Remoción para t=28 min

Para t= Min 40					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,2285	87	100	93,5	0,127	11,87
0,215	85,5	87	86,25	0,119	10,30
1,3565	83,5	85,5	84,5	0,754	63,68
1,8				TOTAL	85,85

Tabla No.3.5c. Remoción para t=35 min

Tiempo de retención min	% Remoción
18	75,92
28	83,54
35	85,85

Tabla No.3.5d.Remoción en diferentes tiempos

CONCENTRACION AL 4%-UNIVERSIDAD MARIANA



Grafica No.3.1 Remoción

Simultáneamente, se realizó cinco ensayos con la misma agua con características iguales ya que se tomaron las muestras en el mismo momento para no inducir a errores se presentan en el Anexo B, los cuales se realizaron en la torre de la Universidad de Nariño.

DÓSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE:

% REMOCION DE TURBIEDAD -UNIVERSIDAD DE NARIÑO								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	34,54	32,82	32,36	32,5	3,961	8,529	9,861	9,567
10	18,58	20,96	21,64	25,62	48,205	41,620	39,907	28,451
15	12,14	12,56	13,28	12,82	65,804	64,760	62,577	64,158
20	8,14	8	8,86	8,84	77,379	77,711	74,890	74,868
25	5,64	6,06	6,46	5,84	84,155	83,055	81,964	83,694
30	4,94	5,56	5,4	5,58	86,081	84,401	84,823	84,344
40	5,1	4,78	4,96	5,12	85,639	86,551	85,971	85,559
50	4,52	4,04	3,9	4,08	87,362	88,783	89,156	88,582
60	4,24	4,26	4,02	3,96	88,162	88,113	88,757	88,919
80	4,2	4,04	3,94	3,86	88,250	88,684	88,974	89,212
100	4	4	4,02	4,08	88,817	88,806	88,720	88,535
120	3,88	3,96	4,08	4,06	89,140	88,922	88,622	88,642

Tabla No.3.6 % Remoción de turbiedad

AJUSTE AL % DE REMOCION DE TURBIEDAD				
Tiempo (min)	h1	h2	h3	h4
5	3,96	8,53	9,86	9,57
10	48,20	41,62	39,91	28,45
15	65,80	64,76	62,58	64,16
20	77,38	77,71	74,89	74,87
25	84,15	83,05	81,96	83,69
30	86,08	84,40	84,82	84,34
40		86,55	85,97	85,56
50		88,78	89,16	

Tabla No.3.7ajuste al % de remoción de turbiedad

Curva de Isoremoción: Para el cálculo de los Δh de las tablas 3.8a ,3.8 b y 3.8 c, se empleó la gráfica de isoremoción, la cual se encuentra en el Anexo E

Determinación de remoción total en diferentes tiempos

Para t= 18 min					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,0445	87,5	100	93,75	0,030	2,78
0,089	85,5	87,5	86,5	0,049	4,28
0,075	83,5	85,5	84,5	0,042	3,52
0,242	80,5	83,5	82	0,134	11,02
0,29	72,5	80,5	76,5	0,161	12,33
1,06	71	72,5	71,75	0,589	42,25
1,8				TOTAL	76,18

Tabla No.3.8a.Remoción para t=18 min

Para t= 28 min					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,126	87,5	100	93,75	0,070	6,56
0,127	85,5	87,5	86,5	0,071	6,10
0,362	83,5	85,5	84,5	0,201	16,99
1,185	80,5	83,5	82	0,658	53,98
1,8				TOTAL	83,64

Tabla No.3.8b.Remoción para t=28 min

Para t= 35 min					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,2285	87,5	100	93,75	0,127	11,90
0,215	85,5	87,5	86,5	0,119	10,33
1,3565	83,5	85,5	84,5	0,754	63,68
1,8				TOTAL	85,91

Tabla No.3.8c.Remoción para t=35 min

Tiempo de retención Min	% Remoción
18	76,18
28	83,64
35	85,91

Tabla No.3.8d.Remoción para C=4%

CONCENTRACION AL 4% - UNIVERSIDAD DE NARIÑO



Grafica No.3.2 Remoción

Una vez realizado los diez ensayos de sedimentación se comparó los resultados obtenidos y se estableció que los resultados son aproximadamente iguales, dando por terminado la etapa de calibración de la torre de sedimentación.

3.2 SEDIMENTACIÓN CONVENCIONAL – COLUMNAS DE SEDIMENTACIÓN

Fuente de muestra: EL CUSCUNGO

Se ha realizado ensayos para diferentes concentraciones de coagulante, a turbiedades del agua en tiempos de verano e invierno, los cuales se describen a continuación.

VERANO

3.2.1 Parámetros iniciales del agua

Datos iniciales	
Turbiedad (UNT):	31.4
pH:	7.94
Temperatura:	17.2

Tabla No.3.9 Parámetros iniciales del agua

3.2.2 Concentración de Alumbre tipo “B”= 2%

Se diluyó 2ml de coagulante y se aforó a 1lt de agua destilada, para lograr observar la formación de floc y el resultado que esta concentración remueve.

3.2.3 Volumen de coagulante para cada Jarra: Para lo cual se emplea la siguiente ecuación.

$$C_1 = \frac{C_2 * V_2}{V_1} \quad \text{Ec.2.1}$$

Dónde:

C₁= Volumen del coagulante a disolver en cada jarra en [ml]

C₂=Rango de Concentraciones del coagulante [ppm]

V₁= Concentración de la solución madre [ppm]

V₂=Volumen de la Jarra [ml]

CALCULO.

Rango de concentraciones [10-20-30-40-50-60]

Para 10

$$C_1 = \frac{C_2 * V_2}{V_1} = \frac{10 \text{ ppm} * 2000 \text{ ml}}{4000 \text{ ppm}} = 5 \text{ ml}$$

Para 20

$$C_1 = \frac{C_2 * V_2}{V_1} = \frac{20 \text{ ppm} * 2000 \text{ ml}}{4000 \text{ ppm}} = 10 \text{ ml}$$

Para 30.

$$C_1 = \frac{C_2 * V_2}{V_1} = \frac{30 \text{ ppm} * 2000 \text{ ml}}{4000 \text{ ppm}} = 15 \text{ ml}$$

Para 40.

$$C_1 = \frac{C_2 * V_2}{V_1} = \frac{40 \text{ ppm} * 2000 \text{ ml}}{4000 \text{ ppm}} = 20 \text{ ml}$$

Para 50.

$$C_1 = \frac{C_2 * V_2}{V_1} = \frac{50 \text{ ppm} * 2000 \text{ ml}}{4000 \text{ ppm}} = 25 \text{ ml}$$

Para 60.

$$C_1 = \frac{C_2 * V_2}{V_1} = \frac{60 \text{ ppm} * 2000 \text{ ml}}{4000 \text{ ppm}} = 30 \text{ ml}$$

Jarra	Rango de Concentraciones del coagulante [ppm]	Volumen del coagulante a disolver en cada jarra [ml]
1	10	5
2	20	10
3	30	15
4	40	20
5	50	25
6	60	30

Tabla No.3.10 Parámetros iniciales del agua

3.2.4 Determinación de la dosificación óptima de coagulante. Los resultados luego de haber obtenido la dosificación óptima de coagulante para las diferentes concentraciones se publican en la tabla No.3.11, el procedimiento de estos resultados se encuentran en el Anexo C

DOSIFICACIONES ÓPTIMAS DE COAGULANTE				
Fuente	cuscuango			
Mezcla rápida rpm	100			
Mezcla Lenta rpm	40			
Datos obtenidos				
DOSIFICACION DE COAGULANTE %	EPOCA			
	VERANO		INVIERNO	
	PARA 2L	PARA 50L	PARA 2L	PARA 50L
2	10	250	-	-
3	10	250	25	625
4	15	375	20	500
5	-	-	25	625

Tabla No.3.11 Dosificación óptima de coagulante

3.2.5 Remoción Total: Para realizar el ensayo de sedimentación es necesario conocer la dosificación óptima de coagulante el cual se obtuvo mediante el ensayo de Jarras y se observa en la Tabla No.3.11

Calculo del % remoción de turbiedad

Para el cálculo de la remoción de turbiedad se aplica la siguiente ecuación

$$\% \text{ Remocion de Turbiedad} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez Final}}{\text{Turbidez inicial}} * 100 \quad \text{Ec. 1.14}$$

Donde

Turbidez inicial = Parámetro inicial del agua

Turbidez Final= Valores obtenidos luego de haber de haber diluido el coagulante. En los diferentes tiempos y alturas.

En el Anexo D, se encuentran cinco réplicas del mismo ensayo tomando el promedio, representado en la Tabla No. 3.12

DETERMINACION DEL REMOCION DE TURBIEDAD								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,40	31,04	25,32	28,22	0,00	1,15	19,36	10,13
10	30,26	29,54	20,24	27,66	3,63	5,92	35,54	11,91
15	24,70	23,40	20,32	23,44	21,34	25,48	35,29	25,35
20	23,54	20,28	20,10	20,66	25,03	35,41	35,99	34,20
25	22,44	21,22	14,54	18,74	28,54	32,42	53,69	40,32
30	10,72	10,90	11,54	10,02	65,86	65,29	63,25	68,09
40	8,04	8,32	8,00	6,74	74,39	73,50	74,52	78,54
50	5,74	7,36	6,70	4,96	81,72	76,56	78,66	84,20
60	4,54	5,14	5,32	4,34	85,54	83,63	83,06	86,18
70	3,48	9,92	9,42	3,34	88,92	68,41	70,00	89,36
80	2,90	7,76	7,94	2,94	90,76	75,29	74,71	90,64
100	2,34	4,62	4,84	2,24	92,55	85,29	84,59	92,87
120	2,34	2,92	2,56	2,20	92,55	90,70	91,85	92,99

Tabla No.3.12 % Remoción de Turbiedad

AJUSTE AL % DE REMOCION DE TURBIEDAD				
Tiempo (min)	h1	h2	h3	h4
5			19,36	10,13
10	3,63	5,92	35,54	11,91
15	21,34	25,48		25,35
20	25,03	35,41	35,99	34,20
25	28,54		53,69	40,32
30	65,86	65,29	63,25	68,09
40	74,39	73,50	74,52	78,54
50	81,72	76,56	78,66	84,20
60	85,54	83,63	83,06	86,18
70	88,92			89,36
80	90,76			90,64
100				
120				

Tabla No.3.13AJUSTE AL % DE REMOCION DE TURBIEDAD

Curva de Isoremoción: Para el cálculo de los Δh de las tablas 3.14a ,3.14 b y 3.14 c, se empleó la gráfica de isoremoción, la cual se encuentra en el Anexo E

Determinación de Remoción total

Para t= 18min					
Δh	Rn	Rn+1	(Rn+Rn+1)/2	$\Delta h/H$	%R
0,032	81	100	90,5	0,018	1,61
0,0365	76	81	78,5	0,020	1,59
0,054	68	76	72	0,030	2,16
0,2065	40	68	54	0,115	6,20
1,471	37	40	38,5	0,817	31,46
1,8				TOTAL	43,02

Tabla No.3.14a. Remoción total

Para t=28 min					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,075	81	100	90,5	0,042	3,77
0,07	76	81	78,5	0,039	3,05
0,188	68	76	72	0,104	7,52
1,4665	40	68	54	0,815	44,00
1,8				TOTAL	58,34

Tabla No.3.14b. Remoción total

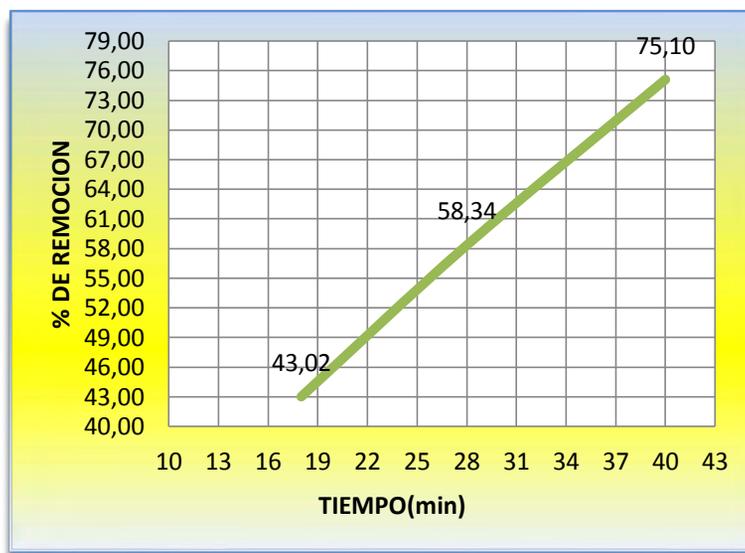
Para 40					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,187	81	100	90,5	0,104	9,40
0,299	76	81	78,5	0,166	13,04
1,3165	68	76	72	0,731	52,66
1,8				TOTAL	75,10

Tabla No.3.14C. Remoción total

% Remoción para C=2%	
Tiempo de retención	verano
18 min	43,02
28 min	58,34
40 min	75,10

Tabla No.3.14d. Remoción total

CONCENTRACION AL 2%



Grafica No.3.3 Remoción

3.2.6 Concentración de Alumbre tipo "B" = 3%

Jarra	Rango de Concentraciones del coagulante [ppm]	Volumen del coagulante a disolver en cada jarra [ml]
1	10	5
2	20	10
3	30	15
4	40	20
5	50	25
6	60	30

Tabla No.3.15 Parámetros iniciales del agua

3.2.7 Determinación de la dosificación óptima de coagulante al 3%: De acuerdo a la Tabla 3.11, la dosificación óptima de coagulante para concentración al 3%= 10 ml para 2ls de agua. Resultado obtenido del promedio de las determinaciones óptimas para coagulante consignadas en el Anexo C.

3.2.8 Remoción Total:

DETERMINACION DE % REMOCIÓN DE TURBIEDAD								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	30,48	29,64	18,92	21,04	5,46	8,06	41,32	34,73
10	25,34	23,04	20,24	18,70	21,39	28,53	37,21	42,00
15	15,58	14,34	13,14	10,44	51,68	55,52	59,24	67,61
20	12,42	11,20	10,84	8,72	61,47	65,26	66,37	72,96
25	7,50	6,26	5,44	4,14	76,74	80,60	83,12	87,16
30	3,20	3,10	2,80	2,14	90,08	90,39	91,32	93,36
40	2,80	2,90	2,10	1,76	91,32	91,01	93,49	94,53
50	2,02	1,96	1,78	1,62	93,73	93,93	94,49	94,97
60	1,62	1,56	1,20	1,00	94,97	95,18	96,28	96,89
70	1,18	1,16	0,88	0,50	96,34	96,42	97,28	98,45
80	0,80	0,66	0,70	0,30	97,52	97,97	97,83	99,07
100	0,58	0,46	0,32	0,28	98,21	98,59	99,00	99,14
120	0,58	0,20	0,18	0,18	98,21	99,38	99,45	99,45

Tabla No.3.16 % Remoción de Turbiedad

Ajuste al % Remoción de Turbiedad				
Tiempo (min)	h1	h2	h3	h4
5	5,46	8,06	41,32	34,73
10	21,39	28,53		42,00
15	51,68	55,52	59,24	67,61
20	61,47	65,26	66,37	72,96
25	76,74	80,60	83,12	87,16
30	90,08	90,39	91,32	93,36
40	91,32	91,01	93,49	94,53
50	93,73	93,93	94,49	94,97
60	94,97	95,18	96,28	96,89
70	96,34	96,42	97,28	98,45

Tabla No.3.17ajuste al % de remoción de turbiedad

Curva de isoremoción: Para el cálculo de los Δh de las tablas 3.18a ,3.18 b y 3.18 c, se empleó la gráfica de isoremoción, la cual se encuentra en el Anexo E

Determinación de Remoción total

Para t = 18 min					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,0065	96,5	100	98,25	0,004	0,35
0,052	93,5	96,5	95	0,029	2,74
0,0175	91,5	93,5	92,5	0,010	0,90
0,078	90	91,5	90,75	0,043	3,93
0,073	86	90	88	0,041	3,57
0,2965	73	86	79,5	0,165	13,10
1,2765	70	73	71,5	0,709	50,71
1,8				TOTAL	75,30

Tabla No.3.18a. Remoción total

Para 28 min					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,026	96,5	100	98,25	0,014	1,42
0,11	93,5	96,5	95	0,061	5,81
0,078	91,5	93,5	92,5	0,043	4,01
0,225	90	91,5	90,75	0,125	11,34
1,361	86	90	88	0,756	66,54
1,8				TOTAL	89,11

Tabla No.3.18b. Remoción total

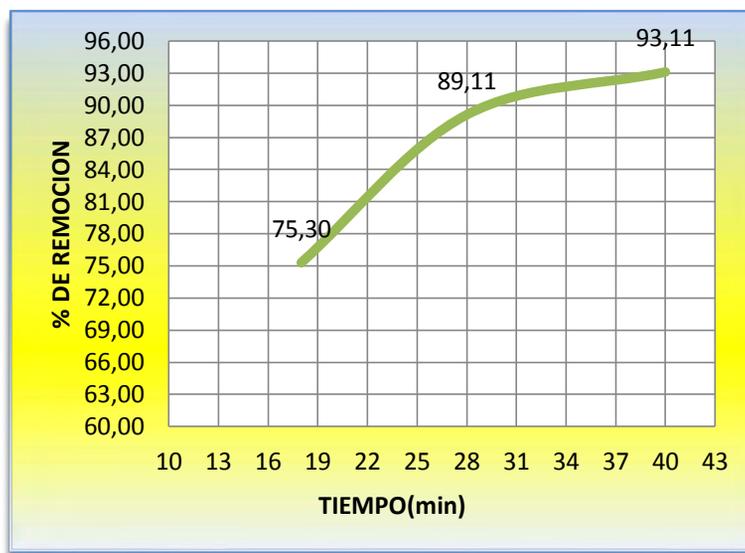
Para 40 minutos					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,0835	96,5	100	98,25	0,046	4,56
0,2455	93,5	96,5	95	0,136	12,96
1,471	91,5	93,5	92,5	0,817	75,59
1,8				TOTAL	93,11

Tabla No.3.18c. Remoción total

% Remoción para C=3%	
Tiempo de retención	Remoción
18 min	75,30
28 min	89,11
40 min	93,11

Tabla No.3.18d. Remoción total

CONCENTRACION AL 3%



Grafica No.3.4 Remoción

3.2.9 Concentración de Alumbre tipo "B" = 4%

Jarra	Rango de Concentraciones del coagulante [ppm]	Volumen del coagulante a disolver en cada jarra [ml]
1	10	5
2	20	10
3	30	15
4	40	20
5	50	25
6	60	30

Tabla No.3.19 Parámetros iniciales del agua

3.2.10 Determinación de la dosificación óptima de coagulante al 4%: De acuerdo a la Tabla 3.11, la dosificación óptima de coagulante para concentración al 4%= 15 ml para 2ls de agua. Resultado obtenido del promedio de las determinaciones óptimas para coagulante consignadas en el Anexo C.

3.2.11 Remoción Total:

DETERMINACION DE % REMOCIÓN DE TURBIEDAD								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,40	31,04	25,32	28,22	4,98	6,08	23,39	14,61
10	31,36	30,54	20,30	21,36	5,10	7,59	38,58	35,37
15	31,30	30,20	20,24	20,22	5,29	8,62	38,76	38,82
20	30,64	26,28	19,60	19,46	7,29	20,62	40,70	41,12
25	25,04	22,02	18,74	16,34	24,24	33,37	43,30	50,56
30	18,32	17,80	15,64	14,32	44,57	46,14	52,68	56,68
40	15,34	16,32	14,60	13,14	53,59	50,63	55,83	60,25
50	13,54	14,66	13,03	12,69	59,04	55,64	60,58	61,60
60	12,47	12,74	12,96	13,04	62,27	61,46	60,79	60,55
70	10,61	9,92	9,42	11,07	67,90	69,99	71,50	66,51
80	6,98	7,76	7,94	8,44	78,89	76,52	75,98	74,46
90	4,74	4,62	4,84	4,44	85,67	86,03	85,36	86,58
100	3,24	2,92	2,56	2,30	90,21	91,18	92,26	93,05

Tabla No.3.20 % Remoción de turbiedad

Ajuste al % Remoción de Turbiedad				
Tiempo (min)	% Remoción de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4
5	4,98		23,39	
10		7,59	38,58	35,37
15		8,62	38,76	38,82
20	7,29	20,62	40,70	41,12
25	24,24	33,37	43,30	50,56
30	44,57	46,14	52,68	56,68
40	53,59	50,63	55,83	60,25
50	59,04	55,64	60,58	
60	62,27	61,46	60,79	
70	67,90	69,99	71,50	66,51
80	78,89	76,52	75,98	
90			85,36	86,58

Tabla No.3.21ajuste al % de remoción de turbiedad

Curva de isoremoción: Para el cálculo de los Δh de las tablas 3.22a ,3.22 b y 322 c, se empleó la gráfica de isoremoción, la cual se encuentra en el Anexo E

Determinación de remoción total

Para 18 min					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,0115	62,5	100	81,25	0,006	0,52
0,02	60	62,5	61,25	0,011	0,68
0,1385	57	60	58,5	0,077	4,50
0,1755	54	57	55,5	0,098	5,41
0,3635	44	54	49	0,202	9,90
1,0915	40	44	42	0,606	25,47
1,8				TOTAL	46,48

Tabla No.3.22a. Remoción total

Para 28					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,04	62,5	100	81,25	0,022	1,81
0,052	60	62,5	61,25	0,029	1,77
0,2495	57	60	58,5	0,139	8,11
0,497	54	57	55,5	0,276	15,32
0,961	44	54	49	0,534	26,16
1,8				TOTAL	53,17

Tabla No.3.22b. Remoción total

Para 40 minutos					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,133	62,5	100	81,25	0,074	6,00
0,123	60	62,5	61,25	0,068	4,19
1,5435	57	60	58,5	0,858	50,16
1,8				TOTAL	60,35

Tabla No.3.22c. Remoción total

% Remoción para C=4%	
Tiempo de retención	Retención
18 min	46,48
28 min	53,17
35 min	60,35

Tabla No.3.22d. Remoción total

CONCENTRACION AL 4%



Grafica No.3.5 Remoción

RESULTADOS OBTENIDOS EN LATORRE DE SEDIMENTACION INVIERNO

3.3 Parámetros iniciales del agua

Turbiedad 41.7 UNT

3.3.1 Concentración de Alumbre tipo "B" = 3%

Jarra	Rango de Concentraciones del coagulante [ppm]	Volumen del coagulante a disolver en cada jarra [ml]
1	10	5
2	20	10
3	30	15
4	40	20
5	50	25
6	60	30

Tabla No.3.23 Parámetros iniciales del agua

3.3.2 Determinación de la dosificación óptima de coagulante al 3%: De acuerdo a la Tabla 3.11, la dosificación óptima de coagulante para concentración al 3%= 25 ml para 2ls de agua. Resultado obtenido del promedio de las determinaciones óptimas para coagulante consignadas en el Anexo C.

3.3.3 Remoción Total:

DETERMINACION DEL % REMOC. DE TURBIEDAD								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	33.42	30.50	30.66	26.94	12.85	20.50	20.05	29.78
10	25.46	24.86	23.90	23.42	33.61	35.19	37.68	38.94
15	20.50	19.50	23.40	21.90	46.54	49.16	38.98	42.91
20	17.16	17.17	15.94	20.48	55.26	55.24	58.43	46.59
25	15.92	14.64	13.42	12.98	58.48	61.85	65.00	66.16
30	14.98	14.00	12.18	10.64	60.95	63.52	68.24	72.27
40	13.76	12.88	11.84	10.24	64.13	66.44	69.12	73.33
50	11.84	10.02	9.80	9.24	69.13	73.90	74.47	75.91
60	8.96	9.84	8.84	8.52	76.64	74.35	76.95	77.80
70	8.88	9.10	8.74	8.74	76.85	76.29	77.20	77.20
80	8.66	8.90	8.76	8.72	77.42	76.81	77.15	77.27
100	8.96	9.44	7.26	8.74	76.63	75.40	81.06	77.21
120	8.70	8.12	8.68	7.32	77.32	78.86	77.36	80.93

Tabla No.3.24 % Remoción de turbiedad

Ajuste al % Remoción de turbiedad				
	h1	h2	h3	h4
5	12.85	20.50	20.05	29.78
10	33.61	35.19	37.68	38.94
15	46.54	49.16	38.98	42.91
20	55.26	55.24	58.43	46.59
25	58.48	61.85	65.00	66.16
30	60.95	63.52	68.24	72.27
40	64.13	66.44	69.12	73.33
50	69.13	73.90	74.47	75.91
60	76.64	74.35	76.95	77.80
70	76.85	76.29	77.20	
80	77.42	76.81		

Tabla No.3.25ajuste al % de remoción de turbiedad

Curva de isoremoción:Para el cálculo de los Δh de las tablas 3.26a ,3.26 b y 326 c, se empleó la gráfica de isoremoción, la cual se encuentra en el Anexo E

Determinación de Remoción total

Para 18 min					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,02	71,5	100	85,75	0,011	0,95
0,0195	69	71,5	70,25	0,011	0,76
0,03	64	69	66,5	0,017	1,11
0,1275	62	64	63	0,071	4,46
0,145	52	62	57	0,081	4,59
1,4585	49	52	50,5	0,810	40,92
1,80				TOTAL	52,80

Tabla No.3.26a. Remoción total

Para 28 min					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,064	71,5	100	85,75	0,036	3,05
0,0445	69	71,5	70,25	0,025	1,74
0,0915	64	69	66,5	0,051	3,38
0,2755	62	64	63	0,153	9,64
1,324	52	62	57	0,736	41,93
1,8				TOTAL	59,74

Tabla No.3.26b. Remoción total

Para 40 minutos					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,184	71,5	100	85,75	0,102	8,77
0,1065	69	71,5	70,25	0,059	4,16
0,744	64	69	66,5	0,413	27,49
0,765	62	64	63	0,425	26,78
1,8				TOTAL	67,18

Tabla No.3.26c. Remoción total

% Remoción al 3%	
Tiempo de retención	Remoción
18 min	52,80
28 min	59,74
40 min	67,18

Tabla No.3.26d. Remoción total

CONCETRACION 3%



Grafica No.3.6Remoción

3.3.4 Concentración de Alumbre tipo “B”= 4%

Jarra	Rango de Concentraciones del coagulante [ppm]	Volumen del coagulante a disolver en cada jarra [ml]
1	10	5
2	20	10
3	30	15
4	40	20
5	50	25
6	60	30

Tabla No.3.27 Parámetros iniciales del agua

3.3.5 Determinación de la dosificación óptima de coagulante al 4%: De acuerdo a la Tabla 3.11, la dosificación óptima de coagulante para concentración al 4%= 20 ml para 2ls de agua. Resultado obtenido del promedio de las determinaciones óptimas para coagulante consignadas en el Anexo C.

3.3.6 Remoción Total:

DETERMINACION DE % REMOC. DE TURBIEDAD								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	35,92	33,00	30,66	29,44	12,74	19,84	25,54	28,50
10	27,96	27,36	26,40	24,32	32,08	33,54	35,88	40,93
15	23,00	22,00	21,30	20,80	44,13	46,56	48,27	49,49
20	19,66	17,67	15,64	15,38	52,26	57,08	62,02	62,65
25	18,42	12,94	9,42	8,38	55,27	68,56	77,13	79,65
30	13,48	9,00	7,38	6,84	67,27	78,13	82,08	83,39
40	11,26	6,08	4,34	4,34	72,66	85,22	89,47	89,46
50	8,34	3,92	3,50	2,94	79,75	90,47	91,50	92,86
60	4,36	3,64	1,74	1,52	89,42	91,15	95,78	96,32
70	3,48	3,50	2,44	1,24	91,55	91,49	94,08	97,00
80	3,26	4,40	2,26	1,42	92,09	89,30	94,52	96,56
100	4,16	4,04	1,36	1,64	89,91	90,18	96,70	96,02
120	3,40	3,12	1,58	1,42	91,75	92,41	96,17	96,56

Tabla No.3.28 % Remoción de turbiedad

Ajuste al % de remoción de turbiedad				
	h1	h2	h3	h4
5	12,74	19,84	25,54	28,50
10	32,08	33,54	35,88	40,93
15	44,13	46,56	48,27	49,49
20	52,26	57,08	62,02	62,65
25	55,27	68,56	77,13	79,65
30	67,27	78,13	82,08	83,39
40	72,66	85,22	89,47	89,46
50	79,75	90,47	91,50	92,86
60	89,42	91,15	95,78	96,32
70	91,55	91,49		97,00
80	92,09			

Tabla No.3.29ajuste al % de remoción de turbiedad

Curva de isoremoción: Para el cálculo de los Δh de las tablas 3.30a ,3.30 b y 3.30 c, se empleó la gráfica de isoremoción, la cual se encuentra en el Anexo E

Determinación de remoción total

Para 18 min					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,028	93,5	100	96,75	0,016	1,51
0,065	91,5	93,5	92,5	0,036	3,34
0,091	88,5	91,5	90	0,051	4,55
0,203	79,5	88,5	84	0,113	9,47
1,413	52	79,5	65,75	0,785	51,61
1,8				TOTAL	70,48

Tabla No.3.30a. Remoción total

Para 28 min					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,067	93,5	100	96,75	0,037	3,60
0,117	91,5	93,5	92,5	0,065	6,01
0,175	88,5	91,5	90	0,097	8,75
1,441	79,5	88,5	84	0,801	67,25
1,8				TOTAL	85,61

Tabla No.3.30b. Remoción total

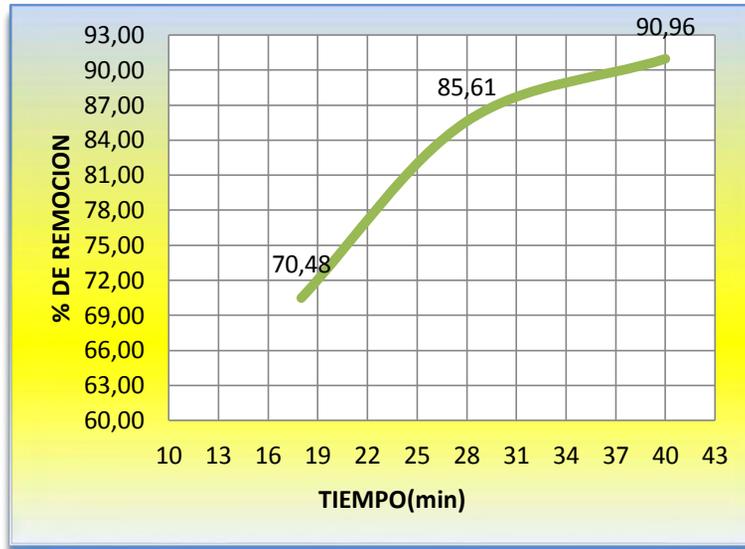
Para 40 minutos					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0,168	93,5	100	96,75	0,093	9,03
0,24	91,5	93,5	92,5	0,133	12,33
1,392	88,5	91,5	90	0,773	69,60
1,8				TOTAL	90,96

Tabla No.3.30c. Remoción total

% Remoción al 4%	
Tiempo de retención	Remocion
18 min	70,48
28 min	85,61
40 min	90,96

Tabla No.3.30d. Remoción total

CONCETRACION 4%



Grafica No.3.7 Remoción

3.3.7 Concentración de Alumbre tipo "B" = 5%

Jarra	Rango de Concentraciones del coagulante [ppm]	Volumen del coagulante a disolver en cada jarra [ml]
1	10	5
2	20	10
3	30	15
4	40	20
5	50	25
6	60	30

Tabla No.3.31 Parámetros iniciales del agua

3.3.8 Determinación de la dosificación óptima de coagulante al 5%: De acuerdo a la Tabla 3.11, la dosificación óptima de coagulante para concentración al 5%= 25 ml para 2ls de agua. Resultado obtenido del promedio de las determinaciones óptimas para coagulante consignadas en el Anexo C.

3.3.9 Remoción total:

DETERMINACION % REMOCION. DE TURBIEDAD								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoc. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	32.04	31.24	25.66	28.62	26.57	28.41	41.19	34.40
10	31.64	30.98	20.50	21.88	27.49	29.00	53.02	49.85
15	31.54	30.68	20.60	20.56	27.72	29.68	52.80	52.88
20	31.02	24.92	20.08	19.86	28.90	42.90	53.98	54.49
25	25.24	22.40	18.94	16.66	42.16	48.67	56.60	61.82
30	18.78	18.10	16.08	14.54	56.96	58.52	63.15	66.68
40	15.72	16.60	14.96	13.46	63.97	61.96	65.72	69.15
50	13.52	14.60	13.02	12.64	69.03	66.58	70.17	71.05
60	12.58	12.80	12.85	12.86	71.18	70.68	70.57	70.56
70	10.93	10.20	9.82	11.33	74.96	76.63	77.50	74.04
80	7.28	8.16	8.20	9.04	83.32	81.31	81.22	79.28
100	7.74	8.58	8.64	9.36	82.25	80.33	80.21	78.56
120	7.64	8.82	8.50	7.30	82.50	79.78	80.52	83.32

Tabla No.3.32 % Remoción de turbiedad

Ajuste al % de remoción de turbiedad				
Tiempo (min)	% Remoción de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4
5	26.57	28.41	41.19	34.40
10	27.49	29.00	53.02	49.85
15	27.72	29.68		52.88
20	28.90	42.90		54.49
25	42.16	48.67	56.60	61.82
30	56.96	58.52	63.15	66.68
40	63.97	61.96	65.72	69.15
50	69.03	66.58	70.17	71.05
60	71.18	70.68	70.57	
70	74.96	76.63	77.50	74.04
80	83.32	81.31	81.22	79.28

Tabla No.3.33ajuste al % de remoción de turbiedad

Curva de isoremoción: Para el cálculo de los Δh de las tablas 3.34a ,3.34 b y 3.34 c, se empleó la gráfica de isoremoción, la cual se encuentra en el Anexo E

Determinación de remoción total

Para 18 min					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0.0115	73	100	86.5	0.006	0.55
0.029	69	73	71	0.016	1.14
0.0595	66	69	67.5	0.033	2.23
0.062	63	66	64.5	0.034	2.22
0.156	51	63	57	0.087	4.94
1.4825	48	51	49.5	0.824	40.77
1.8				TOTAL	51.86

Tabla No.3.34a. Remoción total

Para 28					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0.0135	73	100	86.5	0.008	0.65
0.0745	69	73	71	0.041	2.94
0.107	66	69	67.5	0.059	4.01
0.185	63	66	64.5	0.103	6.63
1.42	51	63	57	0.789	44.97
1.8				TOTAL	59.20

Tabla No.3.34b. Remoción total

Para 40 minutos					
Δh	Rn	Rn+1	$(Rn+Rn+1)/2$	$\Delta h/H$	%R
0.037	73	100	86.5	0.021	1.78
0.1705	69	73	71	0.095	6.73
0.2295	66	69	67.5	0.128	8.61
1.363	63	66	64.5	0.757	48.84
1.8				TOTAL	65.95

Tabla No.3.34c. Remoción total

% Remoción para C=5%	
Tiempo de retención	Remoción
18 min	51.86
28 min	59.20
35 min	65.95

Tabla No.3.34d. Remoción total

CONCETRACION 5%

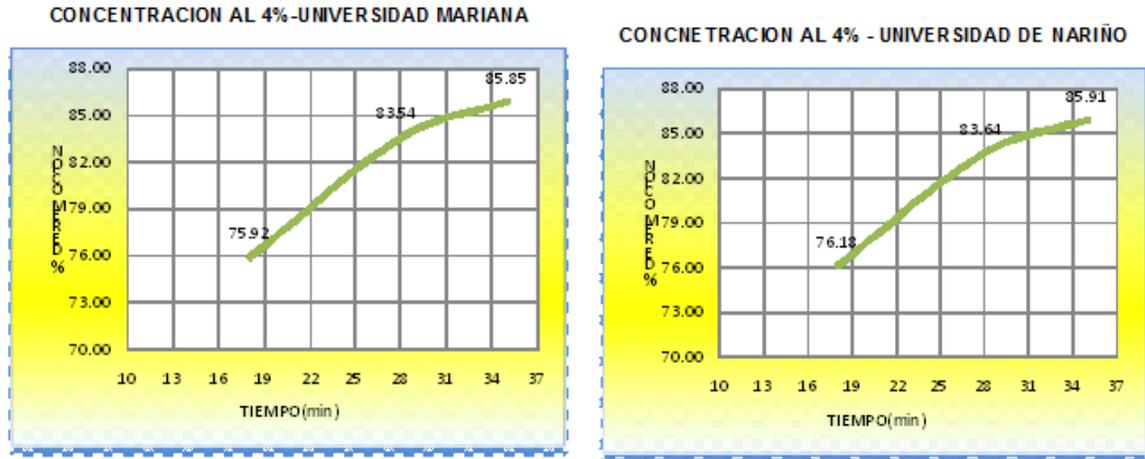


Grafica No.3.8 Remoción

3.4 ANALISIS DE RESULTADOS

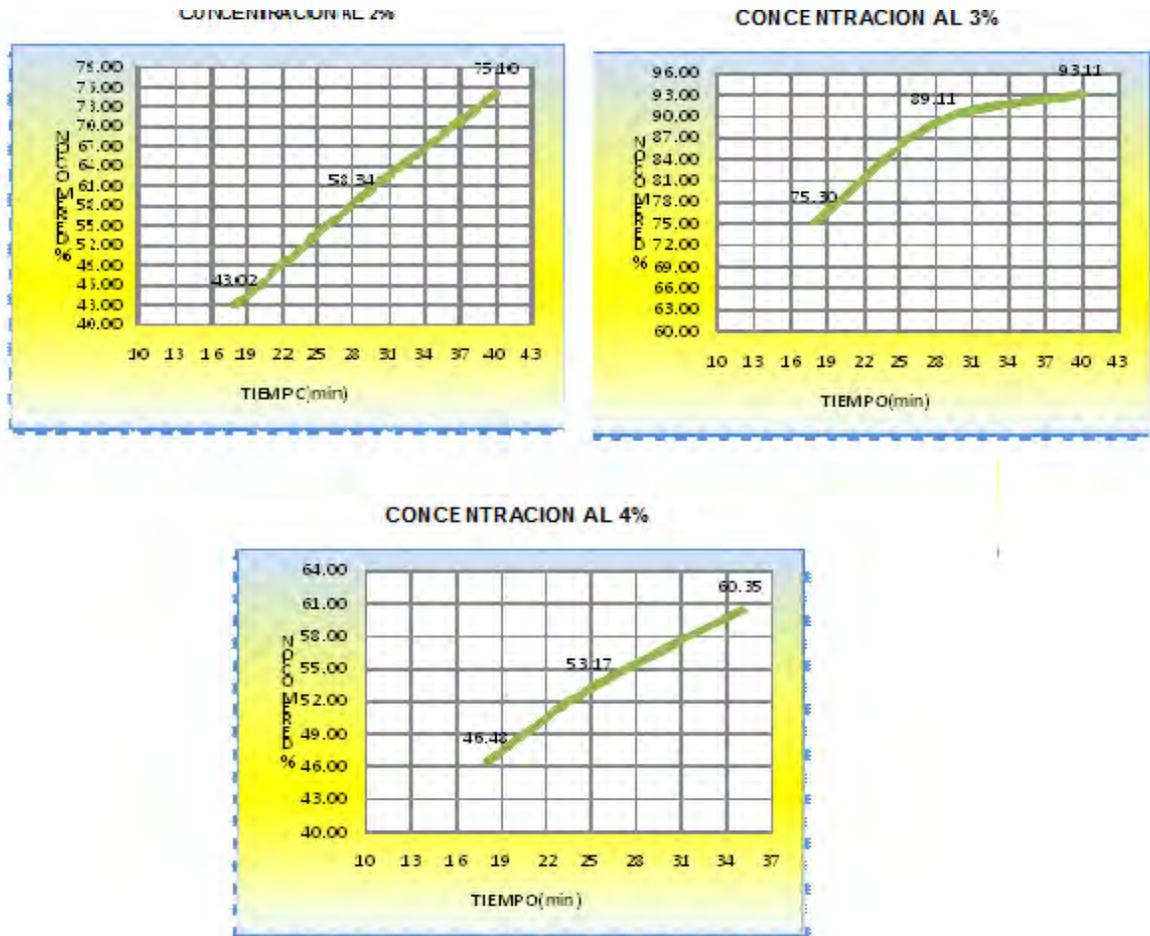
Como primer resultado se tiene el diseño y la construcción de la torre de sedimentación ya implementada en el laboratorio de hidráulica de la Universidad de Nariño; la cual presenta una mejora en cuanto a la reducción de turbiedad a la salida del grifo al haberse disminuido lo diámetros de salida del agua de las cuatro válvulas.

Se presentó que la eficiencia remocional de la torre de sedimentación implementada muestra un adecuado funcionamiento en comparación con un equipo que se encuentran ya en funcionamiento en el laboratorio de aguas de la Universidad Mariana esto se consiga en las siguientes gráficas donde las eficiencias de sedimentación de los equipos son muy similares.

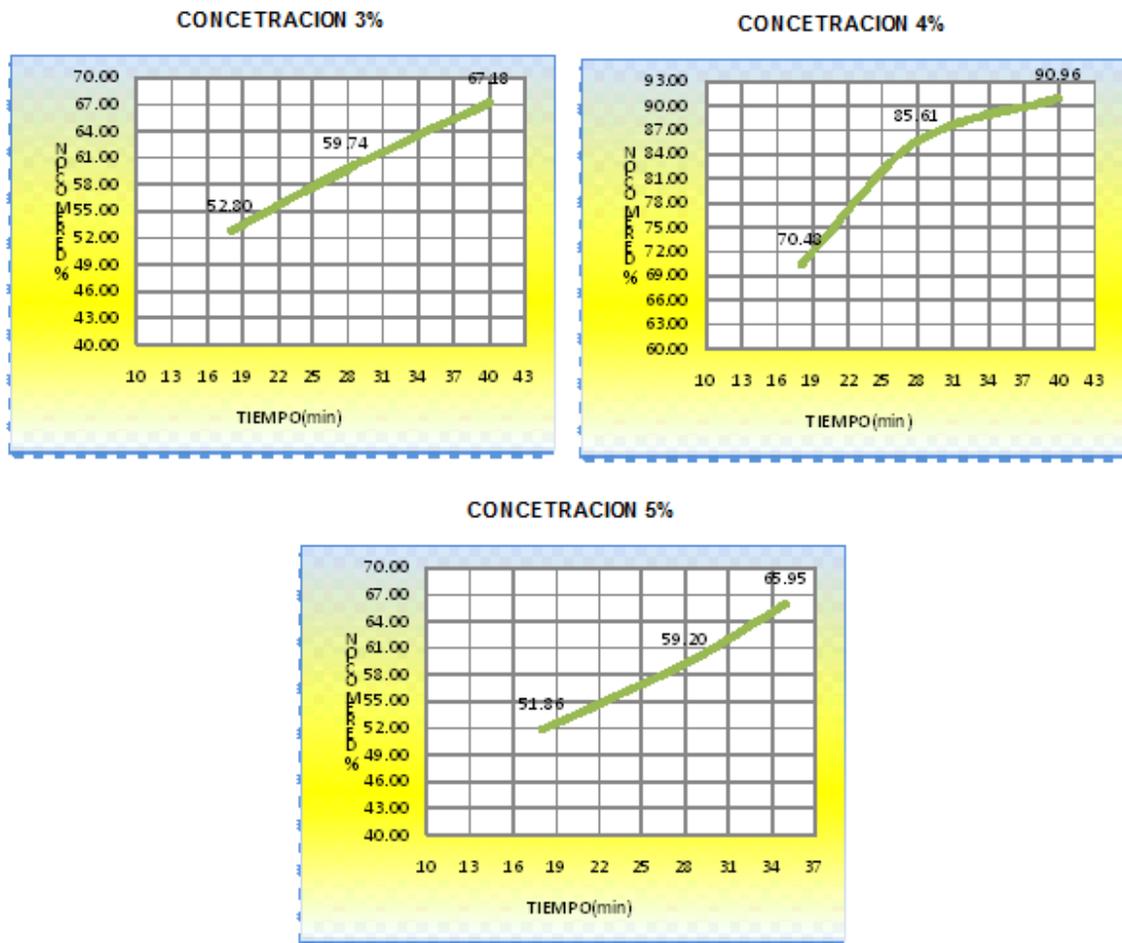


Se consigna al final en el Anexo F el protocolo planteado en los objetivos del trabajo de grado como una herramienta de guía para el funcionamiento adecuado del equipo dando a conocer en este el procedimiento, materiales, equipo y la teoría pertinente para el desarrollo de los cálculos necesarios el ensayo, además de tener al final las tablas necesarias para la consignación de datos obtenidos con el equipo.

Como se observa en los resultados contemplados en el desarrollo del presente trabajo de grado, la época en la que se realizan es de mucha importancia debido a que sus turbiedades cambian totalmente. En este caso se ha realizado para concentraciones del 2%,3% y 4% en época de verano, encontrando como resultado que para concentraciones del 2% presenta remoción del 75%, en 3% remoción de 93.11% y en 4% remoción de 60.38 para un tiempo de retención próximo a 40 min, siendo la que presenta mayor remoción la concentración del 3% como se observa en las siguientes gráficas.



Igualmente, se observa en los resultados contemplados en el desarrollo del presente trabajo de grado, que en época de invierno para concentraciones del 3% la remoción es 67.18, en 4% remoción la remoción es 90.96 y en concentración de 5% la remoción es de 66.95 en un tiempo de retención próximo a 40 min, siendo la que presenta mayor remoción la concentración del 4% como se observa en las siguientes gráficas.



Así se observa que en época de invierno con respecto a la época de verano se presenta una mayor dosificación de coagulante puesto que la turbiedad generada en estos casos se incrementa y por lo tanto el número de partículas a remover es mayor sin embargo existe un límite en cuanto a la dosificación del mismo puesto que un exceso de coagulante implica sobrecostos y bajas remociones. Por ello, es necesario realizar un ensayo adecuado para la obtención de una dosificación óptima puesto que de no tenerla se generara una ineficiencia en la remoción de partículas suspendidas en el agua.

4. CONCLUSIONES

El agua tiene muchas variables que la afectan y por lo tanto es muy difícil controlar todas mediante un modelo matemático que estandarice su comportamiento por ello es útil realizar ensayos de laboratorio para cada fuente puesto que tendrá características propias del lugar geográfico donde se encuentra.

En el caso de querer obtener información de una fuente hídrica es de mucha importancia realizar su análisis a través de los ensayos de Jarras junto con el análisis de la torre de sedimentación para poder tratarla con toda seguridad y dar buen uso de ella ya que al aplicarle una dosificación de coagulante cualquiera no logra una adecuada formación de floculos y en muchos casos estaría empeorando la calidad de la misma.

Se debe tener cuidado en la adición de coagulantes, puesto que el sentido común sería que a mayor dosis de coagulante mayor % de remoción, sin embargo esta idea esta errónea; debido a que este fenómeno fue observado a través del desarrollo en los ensayos y se logró comprobar a través del procesamiento de datos presente en el Anexo C y Anexo D existe un punto en que una mayor dosis de coagulante ya no surte efecto en el agua si no que por el contrario genera mayores turbulencias. Además para el caso de una planta de potabilización esto se traduciría en sobrecostos e ineficiencia del tratamiento del agua.

Entre las variables que más afectan la remoción de partículas suspendidas en el agua se encuentra la turbiedad. La cual es necesario entender que varía con el tiempo aumentando o disminuyendo con respecto a la época en que se encuentra ya sea verano o invierno; presentando los casos más críticos en épocas de invierno al generar mayores turbiedades y aumentar la cantidad de partículas que arrastra en el momento de aumentar su caudal. Por ello las concentraciones óptimas de coagulante varían significativamente. En la mayoría de los casos para dichas épocas de invierno es necesario aumentar la concentración de coagulante para obtener una remoción de turbiedades que se adecue para el consumo humano de acuerdo a la norma RAS para la potabilización de agua.

Mediante el ensayo de Torres de Sedimentación se puede concluir que se llegara a un momento donde las partículas terminaran generando una eficiencia remocional muy cercana al 100%, sin embargo la eficiencia no será la misma en todos los casos puesto que dependerá del coagulante y de la dosificación implementada para el caso de este trabajo de grado se tomaron concentraciones del 2%,3%,4% y 5%. De dichas concentraciones se tendrá una que presente una mayor eficiencia remocional. En conclusión se buscara que las partículas sedimenten mediante la formación de flocs lo más rápido posible para alcanzar

una mayor remoción sedimentando mayor cantidad de partículas en un menor tiempo.

En el momento de realizar los ensayos en la torre de sedimentación se corrobora visualmente la formación de floculos, disueltos en toda la muestra luego de haber realizado una mezcla rápida y una mezcla lenta, visualizados a través de la torre de sedimentación. Observando sólidos suspendidos uniformemente en toda la torre los cuales se presentan en su parte superior los flocs más pequeños y flocs más grandes en la parte inferior, a medida que los flocs desciende junto con el paso del tiempo su peso va aumentando conforme arrastra las partículas suspendidas en el agua formando al final en la base un manto de lodos con las impurezas del agua.

Entre los errores que puede generar el aparato se encuentra el aire atrapado al momento inicial del ensayo puesto que al introducir el agua a la torre de sedimentación se generan burbujas de aire atrapadas entre las boquillas de salida del agua con el tubo es por eso que se recomienda descartar la primera muestra con el fin de evitar posibles cambios en los resultados, además se observó la necesidad de reducir el diámetro de salida de las boquillas con el fin de disminuir el error afectado por posibles turbulencias generadas por el diámetro que estas presentabas ya que se podía estar generándose una recirculación evitando la sedimentación de los floculos.

Para el caso de ensayos de potabilización en la Torre de sedimentación la toma de muestra de agua es necesario recolectarla en el lugar donde se captara el resto de las muestras puesto que los parámetros cambian dependiendo de su trayectoria, al igual que en el tiempo en el que se la toma ya sea en la mañana o en la tarde; para el caso de tomas de muestras se realizan al mismo tiempo y en el mismo lugar y en ninguno de los casos mezcla del agua de distintos lapsos de tiempo puesto que tiene características distintas entre sí incluso si son de la misma fuente y lugar de captación.

5. RECOMENDACIONES

Es importante seguir los protocolos y teoría ya establecida con respecto al ensayo de torre de sedimentación puesto que de lo contrario no se obtendrá los resultados esperados, por ejemplo como es el caso de la mezcla rápida y la mezcla lenta las cuales al no ser hechas en el número de revoluciones establecidas no generaran los flóculos requeridos para la sedimentación de las partículas; Y si se genera una mezcla a mayores revoluciones los floculos se romperán no formándose adecuadamente y si son muy lentas los floculos sedimentaran demasiado rápido sin haberse homogeneizado en toda la muestra de agua.

Al momento de introducir el agua a la torre de sedimentación lo ideal es introducirla tratando de que ingrese por la parte central de la torre para que entre de la manera más homogénea posible al cilindro de la torre de sedimentación; además de evitar apoyar el recipiente en caso de que sea manual la introducción del agua puesto que esto puede ocasionar un daño en el equipo.

Seguir los protocolos teniendo especial cuidado de eliminar el aire atrapado entre las boquillas con el agua al momento de inicial el ensayo por ello se debe descartar la primera muestra que se toma en el equipo cuando se inician los muestreos.

Realizar una dosificación de manera precisa tanto al momento de la dosificación de coagulante como en el llenado de la muestra de agua a analizar.

BIBLIOGRAFIA

GUÍAS DE PROCESOS DE POTABILIZACIÓN. Universidad del valle Facultad de ingeniería, escuela de ingeniería de recursos naturales y del ambiente. Cali, 2012. p. 61

BERMÚDEZ ARROYO, John Albert y CÁRDENAS URBANO, Cristian David. Trabajo de Grado. [Ingeniero Civil] Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, escuela de los recursos naturales y del ambiente, Area académica de ingeniería sanitaria y ambiental: santiago de cal, 2011. Disponible en Internet: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/4156/4/CB-0439283.pdf>, [citado 10 de septiembre de 2013]. p. 66

MALDONADO YACTAYO, Víctor. Tratamiento de aguas para consumo humano: plantas de filtración rápida, manual I, teoría tomo II. Lima: s.n. 2004. p. 62

RAMALHO, R.S Tratamiento de aguas residuales. Edición revisada. London: Reverté S.A, p. 92, Edición original en lengua inglesa publicada por: AcademicPress, Inc. (London) LTD. Título de la obra original Introduction to WasterwaterTreatmentProcesses, Secondedition.Version española por: JIMÉNEZ BELTRÁN, Domingo; DE LORA, Federico y SETTE RAMALHO, Rubens. Disponible en Internet: books.google.com.co/books?id=30etGjzPXyWC&printsec=frontcover&hl=es&source=gs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false [citado octubre 20 de 2013]. p. 507

SALAZAR CANO, Roberto Sistemas de potabilización de agua. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería, 2012. p. 362.

VILLACRESES, JA; VEGA, JC; y MATAMOROS, D.Evaluación de dos casos de estudio del fenómeno de sedimentación en el tratamiento del agua. Ecuador: Escuela Superior Politecnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra: s.f. Disponible en Internet: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/160/1/233.pdf> [citado en octubre 22 de 2013]. p. 10

ZARATE ROMANO Victoria.Estudio de sedimentación de lodos secundario de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales del estado de nuevo león. Trabajo de Grado. [Ingeniero civil] monterrey: s.n: 1995. Disponible en Internet: <http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020112237/1020112237.PDF>. p. 196

ANEXOS

ANEXO A

Determinación de las dosis óptimas de coagulante para las distintas concentraciones de coagulante empleadas en los distintos ensayos así:

- ❖ Dosificación óptima para los ensayos de comparación de datos empleando la torre de sedimentación de la Universidad de la Universidad Mariana
- ❖ Dosificación óptima para los ensayos de comparación de datos empleando la torre de sedimentación de la Universidad de la Universidad de Nariño.

Tabla No 1.1 Determinación de la dosificación óptima de coagulante

UNIVERSIDAD DE NARIÑO				
ENSAYO DE JARRAS				
Determinación de la dosificación óptima de coagulante				
Época de toma de la muestra		calibración		
Datos del coagulante				
Coagulante empleado		Alumbre tipo B		
Concentración del coagulante puro		4000 ppm		
Datos iniciales				
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo		
Turbiedad (UNT):		31,4		
pH:		7,94		
Temperatura °C:		17,2		
Mezcla rápida rpm		100		
Mezcla lenta rpm		40		
Datos y procesamiento de datos				
Dosificación	Vol. del coagulante sol. Madre	Turbiedad	pH	Temperatura
(mg/l)	(ml)	(NTU)		°C
10	5	12,3	7,95	16,2
20	10	3,9	7,89	16,5
30	15	5,3	8,1	16,4
40	20	4,1	8,5	16,8
50	25	3,4	8,2	16,2
60	30	3,7	8,4	16,2
Dosificación óptima de coagulante				
Dosificación para 2 L correspondiente al volumen de la Jarra (ml)			25	
Dosificación para 50 L correspondiente a la torre (ml)			625	

Tabla 1.2 Determinación de la dosificación óptima de coagulante

UNIVERSIDAD DE NARIÑO				
ENSAYO DE JARRAS				
Determinación de la dosificación óptima de coagulante				
Época de toma de la muestra		calibración		
Datos del coagulante				
Coagulante empleado		Alumbre tipo B		
Concentración del coagulante puro		4000 ppm		
Datos iniciales				
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo		
Turbiedad (UNT):		31,4		
pH:		7,94		
Temperatura °C:		17,2		
Mezcla rápida rpm		100		
Mezcla lenta rpm		40		
Datos y procesamiento de datos				
Dosificación	Vol. del coagulante sol. Madre	Turbiedad	pH	Temperatura
(mg/l)	(ml)	(NTU)		°C
10	5	8,8	7,1	17,1
20	10	4,1	7,3	16,8
30	15	3,8	7,2	17,1
40	20	3,3	7,2	16,8
50	25	3,1	7,1	17,1
60	30	3,9	7,4	17,1
Dosificación óptima de coagulante				
Dosificación para 2 L correspondiente al volumen de la Jarra (ml)			25	
Dosificación para 50 L correspondiente a la torre (ml)			625	

ANEXO B

ENSAYOS DE COMPARACIÓN DE LAS TORRES DE SEDIMENTACIÓN

Mediante el equipo de torre de sedimentación de la Universidad Mariana y la Universidad de Nariño se realiza una comparación de los datos obtenidos en cada equipo, mediante 5 ensayos realizados en la Universidad Mariana y 5 ensayos en la Universidad de Nariño.

TABLA No2.1 Determinación del porcentaje de remoción

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Lugar del ensayo					Universidad de Nariño			
Ensayo No					1			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					625 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada Universidad Mariana sede Alvernia			
Turbiedad (UNT):					37,6			
pH:					7,94			
Temperatura:					16,5			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	32	31,7	31,3	31,1	14,89	15,69	16,76	17,29
10	17	28,1	26,7	28,7	54,79	25,27	28,99	23,67
15	7,2	11	10,1	7	80,85	70,74	73,14	81,38
20	9	8,8	7	6	76,06	76,60	81,38	84,04
25	5	6,7	7,1	6,1	86,70	82,18	81,12	83,78
30	5	6,1	5,4	6	86,70	83,78	85,64	84,04
40	4,9	5	4,8	5,1	86,97	86,70	87,23	86,44
50	4,9	5	4	4,3	86,97	86,70	89,36	88,56
60	4,8	5	4,1	4,2	87,23	86,70	89,10	88,83
80	4,6	4,1	4,1	4,1	87,77	89,10	89,10	89,10
100	4,3	4,1	4	4	88,56	89,10	89,36	89,36
120	4	4	4,1	4,1	89,36	89,36	89,10	89,10

TABLA No2.2 Determinación del porcentaje de remoción

UNIVERSIDAD DE NARIÑO								
ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION								
Determinación del porcentaje de remoción								
Lugar del ensayo					Universidad de Nariño			
Ensayo No					2			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					625 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada Universidad Mariana sede Alvernia			
Turbiedad (UNT):					35,3			
pH:					7,94			
Temperatura:					16,3			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	35,3	33,3	35,3	35,1	0,00	5,67	0,00	0,57
10	14,2	15,1	16,3	35,1	59,77	57,22	53,82	0,57
15	10,2	10,8	10,1	9,5	71,10	69,41	71,39	73,09
20	7,2	7,8	8,8	7,8	79,60	77,90	75,07	77,90
25	6,2	6,3	6,6	6,1	82,44	82,15	81,30	82,72
30	4,2	5,5	5,5	5,3	88,10	84,42	84,42	84,99
40	5,3	4,8	5,2	5	84,99	86,40	85,27	85,84
50	5	4,1	4,4	4,2	85,84	88,39	87,54	88,10
60	4	4,3	4,4	4,1	88,67	87,82	87,54	88,39
80	4,6	4,8	4,6	4,1	86,97	86,40	86,97	88,39
100	4,7	4,7	5	5,1	86,69	86,69	85,84	85,55
120	4,8	5,2	5,8	5,1	86,40	85,27	83,57	85,55

TABLA No2.3 Determinación del porcentaje de remoción

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Lugar del ensayo					Universidad de Nariño			
Ensayo No					3			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					625 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada Universidad Mariana sede Alvernia			
Turbiedad (UNT):					31,7			
pH:					7,95			
Temperatura:					15,8			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	28,9	29,8	27	26,8	8,83	5,99	14,83	15,46
10	17,2	19,5	18,4	20,6	45,74	38,49	41,96	35,02
15	14,2	13,3	16,1	12,2	55,21	58,04	49,21	61,51
20	6,7	7	12,1	13,2	78,86	77,92	61,83	58,36
25	6,3	6,1	6,2	5,6	80,13	80,76	80,44	82,33
30	6,3	6,1	6,2	6,3	80,13	80,76	80,44	80,13
40	6,2	5,7	6,6	6,6	80,44	82,02	79,18	79,18
50	4,5	3,3	3,2	4,2	85,80	89,59	89,91	86,75
60	4,3	4,1	4	4,1	86,44	87,07	87,38	87,07
80	4,3	4,1	3,9	3,8	86,44	87,07	87,70	88,01
100	3,9	4	4,2	4,4	87,70	87,38	86,75	86,12
120	3,8	3,7	3,3	3,9	88,01	88,33	89,59	87,70

TABLA No2.4 Determinación del porcentaje de remoción

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Lugar del ensayo					Universidad de Nariño			
Ensayo No					4			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					625 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada Universidad Mariana sede Alvernia			
Turbiedad (UNT):					38,2			
pH:					7,96			
Temperatura:					16,9			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	37,5	33,6	28,8	32,7	1,83	12,04	24,61	14,40
10	14,3	13,2	17,3	15,5	62,57	65,45	54,71	59,42
15	7,8	7,3	7,8	8	79,58	80,89	79,58	79,06
20	6,5	6,3	6,6	7	82,98	83,51	82,72	81,68
25	5,5	5,8	6,1	5,8	85,60	84,82	84,03	84,82
30	4,4	4,6	4,8	5,2	88,48	87,96	87,43	86,39
40	5	4,3	4,3	5	86,91	88,74	88,74	86,91
50	4,6	4,1	4,2	3,9	87,96	89,27	89,01	89,79
60	4,6	4,2	4	4	87,96	89,01	89,53	89,53
80	4,4	4	3,8	3,8	88,48	89,53	90,05	90,05
100	4,1	4,1	3,8	3,7	89,27	89,27	90,05	90,31
120	3,8	3,8	4	4,1	90,05	90,05	89,53	89,27

TABLA No2.5 Determinación del porcentaje de remoción

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Lugar del ensayo					Universidad de Nariño			
Ensayo No					5			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					625 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada Universidad Mariana sede Alvernia			
Turbiedad (UNT):					36,9			
pH:					7,97			
Temperatura:					16,2			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	36,9	35,7	36,9	35,6	0,00	3,25	0,00	3,52
10	30,2	28,9	29,5	28,2	18,16	21,68	20,05	23,58
15	21,3	20,4	22,3	27,4	42,28	44,72	39,57	25,75
20	11,3	10,1	9,8	10,2	69,38	72,63	73,44	72,36
25	5,2	5,4	6,3	5,6	85,91	85,37	82,93	84,82
30	4,8	5,5	5,1	5,1	86,99	85,09	86,18	86,18
40	4,1	4,1	3,9	3,9	88,89	88,89	89,43	89,43
50	3,6	3,7	3,7	3,8	90,24	89,97	89,97	89,70
60	3,5	3,7	3,6	3,4	90,51	89,97	90,24	90,79
80	3,1	3,2	3,3	3,5	91,60	91,33	91,06	90,51
100	3	3,1	3,1	3,2	91,87	91,60	91,60	91,33
120	3	3,1	3,2	3,1	91,87	91,60	91,33	91,60

TABLA No2.6 Determinación del porcentaje de remoción

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Lugar del ensayo					Universidad Mariana			
Ensayo No					1			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					625 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada Universidad Mariana sede Alvernia			
Turbiedad (UNT):					38,3			
pH:					7,65			
Temperatura:					16,1			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	36,5	32,7	37,3	32,4	4,70	14,62	2,61	15,40
10	15,9	23,3	28,2	35,7	58,49	39,16	26,37	6,79
15	6,9	7,4	7,6	12,2	81,98	80,68	80,16	68,15
20	6,8	6,8	10,1	10	82,25	82,25	73,63	73,89
25	4,9	6	6,2	5,5	87,21	84,33	83,81	85,64
30	4,1	5,6	5,5	5,5	89,30	85,38	85,64	85,64
40	5,1	4,2	4,2	4,1	86,68	89,03	89,03	89,30
50	4,6	3,7	4,2	3,8	87,99	90,34	89,03	90,08
60	3,8	4,3	4	4	90,08	88,77	89,56	89,56
80	4,5	4,3	4,4	4,7	88,25	88,77	88,51	87,73
100	4,7	5,5	4,6	5	87,73	85,64	87,99	86,95
120	4,8	5,1	5,6	5,1	87,47	86,68	85,38	86,68

TABLA No2.7 Determinación del porcentaje de remoción

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Lugar del ensayo					Universidad Mariana			
Ensayo No					2			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					625 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada Universidad Mariana sede Alvernia			
Turbiedad (UNT):					37,1			
pH:					7,83			
Temperatura:					16,7			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	35,6	33,8	31	33,5	4,04	8,89	16,44	9,70
10	17	25,7	29,3	37	54,18	30,73	21,02	0,27
15	7,4	8,7	10	11,4	80,05	76,55	73,05	69,27
20	7,2	7,3	8,5	9,8	80,59	80,32	77,09	73,58
25	5,2	6,2	6,8	5,8	85,98	83,29	81,67	84,37
30	4,8	5,8	5,9	5,1	87,06	84,37	84,10	86,25
40	5,4	4,7	4,7	5	85,44	87,33	87,33	86,52
50	5,4	4	4,7	4,6	85,44	89,22	87,33	87,60
60	4	4,4	4,1	4,7	89,22	88,14	88,95	87,33
80	4,8	4,3	4	4,1	87,06	88,41	89,22	88,95
100	5,1	5,6	4,3	5	86,25	84,91	88,41	86,52
120	5,1	5,3	4,2	4	86,25	85,71	88,68	89,22

TABLA No 2.8 Determinación del porcentaje de remoción

UNIVERSIDAD DE NARIÑO								
ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION								
Determinación del porcentaje de remoción								
Lugar del ensayo					Universidad Mariana			
Ensayo No					3			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					625 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada Universidad Mariana sede Alvernia			
Turbiedad (UNT):					36,4			
pH:					7,63			
Temperatura:					16,2			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	35,2	28	29,6	34,3	3,30	23,08	18,68	5,77
10	20,3	24,8	32,4	34,3	44,23	31,87	10,99	5,77
15	6,9	10,3	26,4	11,5	81,04	71,70	27,47	68,41
20	6,8	7,5	9,8	9,3	81,32	79,40	73,08	74,45
25	4,9	5	9,7	11	86,54	86,26	73,35	69,78
30	4,1	5	7	10,8	88,74	86,26	80,77	70,33
40	5,1	4,8	5,5	5,7	85,99	86,81	84,89	84,34
50	4,6	4,7	4,3	4,7	87,36	87,09	88,19	87,09
60	3,8	4,7	4,5	4,6	89,56	87,09	87,64	87,36
80	4,5	4,2	4,5	4,5	87,64	88,46	87,64	87,64
100	4,7	5	4,6	4,6	87,09	86,26	87,36	87,36
120	4,8	4,8	4,5	4,6	86,81	86,81	87,64	87,36

TABLA No2.9 Determinación del porcentaje de remoción

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Lugar del ensayo					Universidad Mariana			
Ensayo No					4			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					625 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada Universidad Mariana sede Alvernia			
Turbiedad (UNT):					35,7			
pH:					7,7			
Temperatura:					15,4			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	35	29,5	30,9	32,4	1,96	17,37	13,45	9,24
10	17,3	22,3	28	35,7	51,54	37,54	21,57	0,00
15	17,2	19,5	7,5	11	51,82	45,38	78,99	69,19
20	10,6	11,4	11,1	9,8	70,31	68,07	68,91	72,55
25	10,4	9,8	7,2	5,5	70,87	72,55	79,83	84,59
30	8,2	7,6	7,1	5,5	77,03	78,71	80,11	84,59
40	7,3	8,4	8,2	4,1	79,55	76,47	77,03	88,52
50	5,5	5,7	6,2	3,8	84,59	84,03	82,63	89,36
60	4,8	4,9	4,4	4	86,55	86,27	87,68	88,80
80	4,8	5	4,4	4,7	86,55	85,99	87,68	86,83
100	4,6	5	4,6	5	87,11	85,99	87,11	85,99
120	4,6	4,8	4,2	5,1	87,11	86,55	88,24	85,71

TABLA No2.10 Determinación del porcentaje de remoción

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Lugar del ensayo					Universidad Mariana			
Ensayo No					5			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					625 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada Universidad Mariana sede Alvernia			
Turbiedad (UNT):					32,4			
pH:					7,4			
Temperatura:					16,1			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,2	31,3	31,9	32,4	3,70	3,40	1,54	0,00
10	23,5	23,4	29	31,3	27,47	27,78	10,49	3,40
15	7,8	6,4	6,5	10,11	75,93	80,25	79,94	68,80
20	5,7	6,3	9,1	9	82,41	80,56	71,91	72,22
25	5,3	5,5	5,1	4,8	83,64	83,02	84,26	85,19
30	3,9	5	4,9	5,1	87,96	84,57	84,88	84,26
40	4,7	3,9	4,1	4,3	85,49	87,96	87,35	86,73
50	4,3	3,3	4	3,9	86,73	89,81	87,65	87,96
60	4	3,1	3,8	3,5	87,65	90,43	88,27	89,20
80	4,1	4,2	3,8	3,7	87,35	87,04	88,27	88,58
100	4,3	4,8	3,6	3,5	86,73	85,19	88,89	89,20
120	4,1	4,1	3,4	3,2	87,35	87,35	89,51	90,12

ANEXO C

Determinación de las dosis óptimas de coagulante para las distintas concentraciones de coagulante empleadas en los distintos ensayos así:

- ❖ Dosificación óptima para los ensayos en épocas de verano para concentraciones de coagulante del 2%, 3% y 4%.
- ❖ Dosificación óptima para los ensayos en épocas de invierno para concentraciones de coagulante del 3%, 4% y 5%.

Las tablas del cálculo de dosificaciones óptimas se muestran a continuación:

TABLA No3.1 CONCENTRACIÓN AL 2%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO DE JARRAS Determinación de la dosificación óptima de coagulante				
Época de toma de la muestra		Verano		
Datos del coagulante				
Coagulante empleado		Alumbre tipo B		
Concentración del coagulante puro		4000 ppm		
Datos iniciales				
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo		
Turbiedad (UNT):		31,4		
pH:		7,94		
Temperatura °C:		17,2		
Mezcla rapido rpm		100		
Mezcla lenta rpm		40		
Datos y procesamiento de datos				
Dosificación	Vol. del coagulante sol. Madre	Turbiedad	pH	Temperatura
(mg/l)	(ml)	(NTU)		°C
10	5	146	7,1	17,2
20	10	1,52	7,7	17,2
30	15	167	7,2	17,1
40	20	3,2	7,9	17,1
50	25	5,6	7,3	17,2
60	30	3,5	7,4	17,3
Dosificación óptima de coagulante				
Dosificación para 2 L correspondiente al volumen de la Jarra (ml)			10	
Dosificación para 50 L correspondiente a la torre (ml)			250	

TABLA No3.2 CONCENTRACIÓN AL 3%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO DE JARRAS Determinación de la dosificación óptima de coagulante				
Época de toma de la muestra		Verano		
Datos del coagulante				
Coagulante empleado		Alumbre tipo B		
Concentración del coagulante puro		4000 ppm		
Datos iniciales				
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo		
Turbiedad (UNT):		31,4		
pH:		7,94		
Temperatura °C:		17,2		
Mezcla rápida rpm		100		
Mezcla lenta rpm		40		
Datos y procesamiento de datos				
Dosificación	Vol. del coagulante sol. Madre	Turbiedad	pH	Temperatura
(mg/l)	(ml)	(NTU)		°C
10	5	1,95	7,9	17,2
20	10	0,87	7,7	17,1
30	15	0,95	7,2	17,3
40	20	1,05	7,5	17,2
50	25	7,54	7,7	17,2
60	30	11,38	7,6	17,1
Dosificación óptima de coagulante				
Dosificación para 2 L correspondiente al volumen de la Jarra (ml)			10	
Dosificación para 50 L correspondiente a la torre (ml)			250	

TABLA No3.3 CONCENTRACIÓN AL 4%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO DE JARRAS Determinación de la dosificación óptima de coagulante				
Época de toma de la muestra		Verano		
Datos del coagulante				
Coagulante empleado		Alumbre tipo B		
Concentración del coagulante puro		4000 ppm		
Datos iniciales				
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo		
Turbiedad (UNT):		31,4		
pH:		7,94		
Temperatura °C:		17,2		
Mezcla rápida rpm		100		
Mezcla lenta rpm		40		
Datos y procesamiento de datos				
Dosificación	Vol. del coagulante sol. Madre	Turbiedad	pH	Temperatura
(mg/l)	(ml)	(NTU)		°C
10	5	1,88	7,82	18,1
20	10	2,01	7,74	17,5
30	15	1,19	7,76	17,2
40	20	2,32	8,25	17,4
50	25	3,46	8,06	17,8
60	30	6,34	7,07	18,2
Dosificación óptima de coagulante				
Dosificación para 2 L correspondiente al volumen de la Jarra (ml)			15	
Dosificación para 50 L correspondiente a la torre (ml)			375	

TABLA No3.4 CONCENTRACIÓN AL 3%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO DE JARRAS Determinación de la dosificación óptima de coagulante				
Época de toma de la muestra		Invierno		
Datos del coagulante				
Coagulante empleado		Alumbre tipo B		
Concentración del coagulante puro		4000 ppm		
Datos iniciales				
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo		
Turbiedad (UNT):		31,4		
pH:		7,94		
Temperatura °C:		17,2		
Mezcla rápida rpm		100		
Mezcla lenta rpm		40		
Datos y procesamiento de datos				
Dosificación	Vol. del coagulante sol. Madre	Turbiedad	pH	Temperatura
(mg/l)	(ml)	(NTU)		°C
10	5	14,5	7,3	17,2
20	10	14,4	8,1	17,3
30	15	13,3	8,2	17,4
40	20	1,5	7,5	16,9
50	25	1,2	7,2	17
60	30	1,8	7,3	17
Dosificación óptima de coagulante				
Dosificación para 2 L correspondiente al volumen de la Jarra (ml)		25		
Dosificación para 50 L correspondiente a la torre (ml)		625		

TABLA No3.5 CONCENTRACIÓN AL 4%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO DE JARRAS Determinación de la dosificación óptima de coagulante				
Época de toma de la muestra		Invierno		
Datos del coagulante				
Coagulante empleado		Alumbre tipo B		
Concentración del coagulante puro		4000 ppm		
Datos iniciales				
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo		
Turbiedad (UNT):		31,4		
pH:		7,94		
Temperatura °C:		17,2		
Mezcla rápida rpm		100		
Mezcla lenta rpm		40		
Datos y procesamiento de datos				
Dosificación	Vol. del coagulante sol. Madre	Turbiedad	pH	Temperatura
(mg/l)	(ml)	(NTU)		°C
10	5	1,2	7,3	16,4
20	10	1,1	7,2	16,7
30	15	0,9	7,5	17,1
40	20	0,5	7,1	16,9
50	25	0,8	6,9	17,2
60	30	1,3	7,5	17,1
Dosificación óptima de coagulante				
Dosificación para 2 L correspondiente al volumen de la Jarra (ml)			20	
Dosificación para 50 L correspondiente a la torre (ml)			500	

TABLA No3.6 CONCENTRACIÓN AL 5%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO DE JARRAS Determinación de la dosificación óptima de coagulante				
Época de toma de la muestra		Invierno		
Datos del coagulante				
Coagulante empleado		Alumbre tipo B		
Concentración del coagulante puro		4000 ppm		
Datos iniciales				
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo		
Turbiedad (UNT):		31,4		
pH:		7,94		
Temperatura °C:		17,2		
Mezcla rápida rpm		100		
Mezcla lenta rpm		40		
Datos y procesamiento de datos				
Dosificación (mg/l)	Vol. del coagulante sol. Madre (ml)	Turbiedad (NTU)	pH	Temperatura
				°C
10	5	13,4	8,1	17
20	10	4,2	7,8	17
30	15	3,4	8,2	16,5
40	20	2,5	8,3	16,8
50	25	2,1	8,2	16,9
60	30	2,3	8,3	17
Dosificación óptima de coagulante				
Dosificación para 2 L correspondiente al volumen de la Jarra (ml)		25		
Dosificación para 50 L correspondiente a la torre (ml)		625		

ANEXO D

ENSAYOS REALIZADOS EN LA TORRE DE SEDIMENTACION

A continuación se presentan los datos partiendo del ensayo de torre de sedimentación en riachuelo típico denominado la quebrada del cuscungo ubicado en el lindero norte de la Universidad de Nariño- San Juan de Pasto en una época de verano traducida en tiempo de lluvias bajas.

Se toma como referencia para los ensayos tres concentraciones de dosis de coagulante alumbre tipo B al 2%, 3% y 4% quedando determinados los siguientes ensayos

5 Ensayos a concentración del 2% en verano

5 Ensayos a concentración del 3% en verano

5 Ensayos a concentración del 4% en verano

Además se analiza la época de invierno correspondiente a tiempos lluviosos tomando 5 ensayos para cada concentración a analizar así

5 Ensayos a concentración del 2% en invierno

5 Ensayos a concentración del 3% en invierno

5 Ensayos a concentración del 4% en invierno

Los datos tomados de cada ensayo descrito se mencionan a continuación:

TABLA No4.1 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 2%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Verano			
Ensayo No					1			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					250 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					31,4			
pH:					7,94			
Temperatura:					17,2			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,3	30,8	25,1	28	0,32	1,91	20,06	10,83
10	30,1	29,3	20	27,5	4,14	6,69	36,31	12,42
15	24,5	23,2	20,1	23,2	21,97	26,11	35,99	26,11
20	23,3	20,1	19,9	20,5	25,80	35,99	36,62	34,71
25	22,2	21,1	14,3	18,5	29,30	32,80	54,46	41,08
30	10,5	10,7	11,3	9,8	66,56	65,92	64,01	68,79
40	7,8	8,1	7,8	6,5	75,16	74,20	75,16	79,30
50	5,5	7,2	6,5	4,8	82,48	77,07	79,30	84,71
60	4,3	4,9	5,1	4,1	86,31	84,39	83,76	86,94
70	3,3	9,7	9,26	3,1	89,49	69,11	70,51	90,13
80	2,7	7,6	7,7	2,8	91,40	75,80	75,48	91,08
100	2,1	4,4	4,6	2	93,31	85,99	85,35	93,63
120	2,1	2,7	2,4	2	93,31	91,40	92,36	93,63

TABLA No 4.2 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 2%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Verano			
Ensayo No					2			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					250 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					31,4			
pH:					7,94			
Temperatura:					17,2			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,4	31	25,2	28,1	0,00	1,27	19,75	10,51
10	30,3	29,5	20,2	27,7	3,50	6,05	35,67	11,78
15	24,7	23,4	20,2	23,4	21,34	25,48	35,67	25,48
20	23,5	20,2	20,1	20,7	25,16	35,67	35,99	34,08
25	22,4	21,3	14,5	18,7	28,66	32,17	53,82	40,45
30	10,6	10,9	11,5	9,9	66,24	65,29	63,38	68,47
40	8	8,2	8	6,7	74,52	73,89	74,52	78,66
50	5,7	7,4	6,7	5	81,85	76,43	78,66	84,08
60	4,5	5,1	5,2	4,3	85,67	83,76	83,44	86,31
70	3,4	9,8	9,46	3,3	89,17	68,79	69,87	89,49
80	2,9	7,8	7,9	2,9	90,76	75,16	74,84	90,76
100	2,3	4,5	4,8	2,2	92,68	85,67	84,71	92,99
120	2,3	2,8	2,6	2,2	92,68	91,08	91,72	92,99

TABLA No 4.3 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 2%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Verano			
Ensayo No					3			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					250 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					31,4			
pH:					7,95			
Temperatura:					18,3			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,4	31,1	25,4	28,3	0,00	0,96	19,11	9,87
10	30,2	29,6	20,3	27,6	3,82	5,73	35,35	12,10
15	24,8	23,5	20,4	23,5	21,02	25,16	35,03	25,16
20	23,6	20,2	20,2	20,6	24,84	35,67	35,67	34,39
25	22,5	21,2	14,6	18,8	28,34	32,48	53,50	40,13
30	10,8	11	11,6	10,1	65,61	64,97	63,06	67,83
40	8,1	8,4	7,9	6,8	74,20	73,25	74,84	78,34
50	5,8	7,3	6,6	5,1	81,53	76,75	78,98	83,76
60	4,6	5,2	5,4	4,4	85,35	83,44	82,80	85,99
70	3,4	10	9,36	3,4	89,17	68,15	70,19	89,17
80	2,8	7,7	8	2,9	91,08	75,48	74,52	90,76
100	2,4	4,7	4,9	2,3	92,36	85,03	84,39	92,68
120	2,4	3	2,5	2,3	92,36	90,45	92,04	92,68

TABLA No 4.4 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 2%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Verano			
Ensayo No					4			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					250 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					31,4			
pH:					7,96			
Temperatura:					17,5			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,5	31,2	25,5	28,4	0,32	0,64	18,79	9,55
10	30,5	29,7	20,4	27,7	2,87	5,41	35,03	11,78
15	24,9	23,6	20,5	23,6	20,70	24,84	34,71	24,84
20	23,7	20,5	20,1	20,7	24,52	34,71	35,99	34,08
25	22,6	21,3	14,7	18,9	28,03	32,17	53,18	39,81
30	10,9	10,9	11,7	10,2	65,29	65,29	62,74	67,52
40	8,2	8,5	8,2	6,9	73,89	72,93	73,89	78,03
50	5,9	7,6	6,9	5	81,21	75,80	78,03	84,08
60	4,7	5,3	5,5	4,5	85,03	83,12	82,48	85,67
70	3,7	10,1	9,46	3,5	88,22	67,83	69,87	88,85
80	3,1	8	8,1	3,2	90,13	74,52	74,20	89,81
100	2,5	4,8	5	2,4	92,04	84,71	84,08	92,36
120	2,5	3,1	2,8	2,4	92,04	90,13	91,08	92,36

TABLA No 4.5 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 2%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Verano			
Ensayo No					5			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					250 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					31,4			
pH:					7,97			
Temperatura:					17,2			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,4	31,1	25,4	28,3	0,00	0,96	19,11	9,87
10	30,2	29,6	20,3	27,8	3,82	5,73	35,35	11,46
15	24,6	23,3	20,4	23,5	21,66	25,80	35,03	25,16
20	23,6	20,4	20,2	20,8	24,84	35,03	35,67	33,76
25	22,5	21,2	14,6	18,8	28,34	32,48	53,50	40,13
30	10,8	11	11,6	10,1	65,61	64,97	63,06	67,83
40	8,1	8,4	8,1	6,8	74,20	73,25	74,20	78,34
50	5,8	7,3	6,8	4,9	81,53	76,75	78,34	84,39
60	4,6	5,2	5,4	4,4	85,35	83,44	82,80	85,99
70	3,6	10	9,56	3,4	88,54	68,15	69,55	89,17
80	3	7,7	8	2,9	90,45	75,48	74,52	90,76
100	2,4	4,7	4,9	2,3	92,36	85,03	84,39	92,68
120	2,4	3	2,5	2,1	92,36	90,45	92,04	93,31

TABLA No 4.6 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 3%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Verano			
Ensayo No					1			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					250 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					31,2			
pH:					7,64			
Temperatura:					18,1			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	30,2	29,8	19	21,2	3,21	4,49	39,10	32,05
10	25,5	23,2	20,4	18,5	18,27	25,64	34,62	40,71
15	15,5	14,3	13,3	10,6	50,32	54,17	57,37	66,03
20	12,3	11,2	10,8	8,8	60,58	64,10	65,38	71,79
25	7,3	6,1	5,6	4,3	76,60	80,45	82,05	86,22
30	3,2	3,1	2,8	2,1	89,74	90,06	91,03	93,27
40	2,8	2,7	2,1	1,8	91,03	91,35	93,27	94,23
50	1,9	1,8	1,7	1,5	93,91	94,23	94,55	95,19
60	1,5	1,4	1,2	0,8	95,19	95,51	96,15	97,44
70	1,1	1	0,8	0,5	96,47	96,79	97,44	98,40
80	0,8	0,5	0,5	0,3	97,44	98,40	98,40	99,04
100	0,5	0,3	0,2	0,2	98,40	99,04	99,36	99,36
120	0,5	0,2	0,1	0,1	98,40	99,36	99,68	99,68

TABLA No 4.7 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 3%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Verano			
Ensayo No					2			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					250 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					32,4			
pH:					7,94			
Temperatura:					18,1			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	30,4	29,6	18,8	21	6,17	8,64	41,98	35,19
10	25,3	23	20,2	18,3	21,91	29,01	37,65	43,52
15	15,7	14,1	13,1	10,4	51,54	56,48	59,57	67,90
20	12,1	11	10,6	8,6	62,65	66,05	67,28	73,46
25	7,1	6,3	5,4	4,1	78,09	80,56	83,33	87,35
30	3	2,9	2,6	1,9	90,74	91,05	91,98	94,14
40	2,6	2,5	1,9	1,6	91,98	92,28	94,14	95,06
50	1,7	2	1,5	1,3	94,75	93,83	95,37	95,99
60	1,3	1,6	1	1	95,99	95,06	96,91	96,91
70	1,3	1,2	0,6	0,3	95,99	96,30	98,15	99,07
80	0,6	0,7	0,3	0,1	98,15	97,84	99,07	99,69
100	0,7	0,5	0,2	0,4	97,84	98,46	99,37	98,77
120	0,7	0,2	0,1	0,1	97,84	99,37	99,68	99,68

TABLA No 4.8 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 3%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Verano			
Ensayo No					3			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					250 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					33,6			
pH:					7,97			
Temperatura:					18,2			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	30,5	29,7	19,3	21,1	9,23	11,61	42,56	37,20
10	25,4	23,1	20,3	18,8	24,40	31,25	39,58	44,05
15	15,4	14,6	13,2	10,5	54,17	56,55	60,71	68,75
20	12,2	11,1	11,1	9,1	63,69	66,96	66,96	72,92
25	7,6	6,4	5,5	4,2	77,38	80,95	83,63	87,50
30	3,1	3	2,7	2,4	90,77	91,07	91,96	92,86
40	2,7	3	2	1,7	91,96	91,07	94,05	94,94
50	1,8	2,1	2	1,4	94,64	93,75	94,05	95,83
60	1,4	1,7	1,1	0,7	95,83	94,94	96,73	97,92
70	1	1,3	1,1	0,4	97,02	96,13	96,73	98,81
80	0,7	0,8	0,8	0,2	97,92	97,62	97,62	99,40
100	0,4	0,6	0,1	0,1	98,81	98,21	99,70	99,70
120	0,4	0,1	0,4	0,4	98,81	99,70	98,81	98,81

TABLA No 4.9 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 3%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO								
ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION								
Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra			Verano					
Ensayo No			4					
Datos del coagulante								
Coagulante empleado			Alumbre tipo B					
Concentración del coagulante puro			4000 ppm					
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.			250 ml					
Datos iniciales								
Fuente de la muestra			Quebrada el cuscungo					
Turbiedad (UNT):			31,5					
pH:			7,74					
Temperatura:			17,8					
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1			10 cm					
Altura de la boquilla No 2			50 cm					
Altura de la boquilla No 3			90 cm					
Altura de la boquilla No 4			130 cm					
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	30,6	29,6	18,8	21	2,86	6,03	40,32	33,33
10	25,3	23	20,2	18,9	19,68	26,98	35,87	40,00
15	15,3	14,7	13,1	10,4	51,43	53,33	58,41	66,98
20	12,7	11	11,2	8,6	59,68	65,08	64,44	72,70
25	7,7	5,9	5,4	4,1	75,56	81,27	82,86	86,98
30	3	2,9	2,6	2,5	90,48	90,79	91,75	92,06
40	2,6	3,1	1,9	2,2	91,75	90,16	93,97	93,02
50	2,3	1,6	1,5	1,9	92,70	94,92	95,24	93,97
60	1,9	1,2	1	1,2	93,97	96,19	96,83	96,19
70	0,9	0,8	0,6	0,3	97,14	97,46	98,10	99,05
80	0,6	0,3	0,9	0,1	98,10	99,05	97,14	99,68
100	0,3	0,1	0,6	0,2	99,05	99,68	98,10	99,37
120	0,3	0,2	0,1	0,1	99,05	99,37	99,68	99,68

TABLA No 4.10 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 3%

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Verano			
Ensayo No					5			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					250 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					32,6			
pH:					7,84			
Temperatura:					17,3			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	30,7	29,5	18,7	20,9	5,83	9,51	42,64	35,89
10	25,2	22,9	20,1	19	22,70	29,75	38,34	41,72
15	16	14	13	10,3	50,92	57,06	60,12	68,40
20	12,8	11,7	10,5	8,5	60,74	64,11	67,79	73,93
25	7,8	6,6	5,3	4	76,07	79,75	83,74	87,73
30	3,7	3,6	3,3	1,8	88,65	88,96	89,88	94,48
40	3,3	3,2	2,6	1,5	89,88	90,18	92,02	95,40
50	2,4	2,3	2,2	2	92,64	92,94	93,25	93,87
60	2	1,9	1,7	1,3	93,87	94,17	94,79	96,01
70	1,6	1,5	1,3	1	95,09	95,40	96,01	96,93
80	1,3	1	1	0,8	96,01	96,93	96,93	97,55
100	1	0,8	0,7	0,7	96,93	97,55	97,85	97,85
120	1	0,7	0,6	0,6	96,93	97,85	98,16	98,16

TABLA No 4.11 CONCENTRACION DE COAGULANTE A 4 % EN VERANO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Verano			
Ensayo No					1			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					375 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					31,4			
pH:					7,94			
Temperatura:					17,2			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,3	30,8	25,1	28	0,32	1,91	20,06	10,83
10	31,2	30,3	20	21,2	0,64	3,50	36,31	32,48
15	31,1	30	20,1	20	0,96	4,46	35,99	36,31
20	30,4	24,3	19,4	19,3	3,18	22,61	38,22	38,54
25	24,8	21,9	18,5	16,1	21,02	30,25	41,08	48,73
30	18,1	17,6	15,4	14,1	42,36	43,95	50,96	55,10
40	15,1	16,1	14,4	12,9	51,91	48,73	54,14	58,92
50	13,3	14,5	12,83	12,53	57,64	53,82	59,14	60,10
60	12,23	12,5	12,74	12,8	61,05	60,19	59,43	59,24
70	10,43	9,7	9,26	10,83	66,78	69,11	70,51	65,51
80	6,78	7,6	7,7	8,3	78,41	75,80	75,48	73,57
100	4,5	4,4	4,6	4,2	85,67	85,99	85,35	86,62
120	3	2,7	2,4	2,1	90,45	91,40	92,36	93,31

TABLA No 4.12 CONCENTRACION DE COAGULANTE A 4 % EN VERANO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Verano			
Ensayo No					2			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					375 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					32,4			
pH:					7,94			
Temperatura:					17,2			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,4	31	25,2	28,1	3,09	4,32	22,22	13,27
10	31,4	30,5	20,3	21,4	3,09	5,86	37,35	33,95
15	31,3	30,2	20,2	20,2	3,40	6,79	37,65	37,65
20	30,6	24,4	19,6	19,5	5,56	24,69	39,51	39,81
25	25	22,1	18,7	16,3	22,84	31,79	42,28	49,69
30	18,2	17,8	15,6	14,2	43,83	45,06	51,85	56,17
40	15,3	16,2	14,6	13,1	52,78	50,00	54,94	59,57
50	13,5	14,7	13,03	12,73	58,33	54,63	59,78	60,71
60	12,43	12,7	12,84	13	61,64	60,80	60,37	59,88
70	10,53	9,8	9,46	11,03	67,50	69,75	70,80	65,96
80	6,98	7,8	7,9	8,4	78,46	75,93	75,62	74,07
100	4,7	4,5	4,8	4,4	85,49	86,11	85,19	86,42
120	3,2	2,8	2,6	2,3	90,12	91,36	91,98	92,90

TABLA No 4.13 CONCENTRACION DE COAGULANTE A 4 % EN VERANO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Verano			
Ensayo No					3			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					375 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					33,6			
pH:					7,94			
Temperatura:					17,2			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,4	31,1	25,4	28,3	6,55	7,44	24,40	15,77
10	31,3	30,6	20,3	21,3	6,85	8,93	39,58	36,61
15	31,4	30,3	20,2	20,3	6,55	9,82	39,88	39,58
20	30,7	26,9	19,7	19,4	8,63	19,94	41,37	42,26
25	25,1	22	18,8	16,4	25,30	34,52	44,05	51,19
30	18,4	17,9	15,7	14,4	45,24	46,73	53,27	57,14
40	15,4	16,4	14,5	13,2	54,17	51,19	56,85	60,71
50	13,6	14,6	12,93	12,83	59,52	56,55	61,52	61,82
60	12,53	12,8	13,04	13,1	62,71	61,90	61,19	61,01
70	10,53	10	9,36	11,13	68,66	70,24	72,14	66,88
80	6,88	7,7	8	8,4	79,52	77,08	76,19	75,00
100	4,8	4,7	4,9	4,5	85,71	86,01	85,42	86,61
120	3,3	3	2,5	2,4	90,18	91,07	92,56	92,86

TABLA No 4.14 CONCENTRACION DE COAGULANTE A 4 % EN VERANO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Verano			
Ensayo No					4			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					375 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					33,5			
pH:					7,94			
Temperatura:					17,2			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,5	31,2	25,5	28,4	5,97	6,87	23,88	15,22
10	31,6	30,7	20,5	21,4	5,67	8,36	38,81	36,12
15	31,5	30,4	20,4	20,3	5,97	9,25	39,10	39,40
20	30,8	27,8	19,6	19,5	8,06	17,01	41,49	41,79
25	25,2	22,1	18,9	16,5	24,78	34,03	43,58	50,75
30	18,5	17,8	15,8	14,5	44,78	46,87	52,84	56,72
40	15,5	16,5	14,8	13,3	53,73	50,75	55,82	60,30
50	13,7	14,9	13,23	12,73	59,10	55,52	60,51	62,00
60	12,63	12,9	13,14	13,2	62,30	61,49	60,78	60,60
70	10,83	10,1	9,46	11,23	67,67	69,85	71,76	66,48
80	7,18	8	8,1	8,7	78,57	76,12	75,82	74,03
100	4,9	4,8	5	4,6	85,37	85,67	85,07	86,27
120	3,4	3,1	2,8	2,5	89,85	90,75	91,64	92,54

TABLA No 4.15 CONCENTRACION DE COAGULANTE A 4 % EN VERANO

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Verano			
Ensayo No					5			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					375 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					34,5			
pH:					7,94			
Temperatura:					17,2			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,4	31,1	25,4	28,3	8,99	9,86	26,38	17,97
10	31,3	30,6	20,4	21,5	9,28	11,30	40,87	37,68
15	31,2	30,1	20,3	20,3	9,57	12,75	41,16	41,16
20	30,7	28	19,7	19,6	11,01	18,84	42,90	43,19
25	25,1	22	18,8	16,4	27,25	36,23	45,51	52,46
30	18,4	17,9	15,7	14,4	46,67	48,12	54,49	58,26
40	15,4	16,4	14,7	13,2	55,36	52,46	57,39	61,74
50	13,6	14,6	13,13	12,63	60,58	57,68	61,94	63,39
60	12,53	12,8	13,04	13,1	63,68	62,90	62,20	62,03
70	10,73	10	9,56	11,13	68,90	71,01	72,29	67,74
80	7,08	7,7	8	8,4	79,48	77,68	76,81	75,65
100	4,8	4,7	4,9	4,5	86,09	86,38	85,80	86,96
120	3,3	3	2,5	2,2	90,43	91,30	92,75	93,62

TABLA No 4.16 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 3 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Invierno			
Ensayo No					1			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					625 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					39,2			
pH:					7,94			
Temperatura:					16,5			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	33,5	30,2	31	27,2	14,54	22,96	20,92	30,61
10	25,5	24,8	24,2	23,8	34,95	36,73	38,27	39,29
15	20,5	19,3	23,8	22,2	47,70	50,77	39,29	43,37
20	17,5	17,2	16,3	21	55,36	56,12	58,42	46,43
25	16,2	14,4	13,7	13,5	58,67	63,27	65,05	65,56
30	15,2	13,7	12,5	10,9	61,22	65,05	68,11	72,19
40	14,2	12,5	12,2	10,3	63,78	68,11	68,88	73,72
50	12,2	9,8	9,5	9,4	68,88	75,00	75,77	76,02
60	9,3	9,7	9,2	8,9	76,28	75,26	76,53	77,30
70	9,1	8,8	9,1	9,2	76,79	77,55	76,79	76,53
80	9	8,8	9,2	9,1	77,04	77,55	76,53	76,79
100	9,5	9,2	7,7	9,2	75,77	76,53	80,36	76,53
120	9,1	7,7	9,2	7,7	76,79	80,36	76,53	80,36

TABLA No 4.17CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 3 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Invierno			
Ensayo No					2			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					625 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					38,7			
pH:					7,94			
Temperatura:					16,3			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	32,9	30,7	30,3	26,8	14,99	20,67	21,71	30,75
10	24,9	25,1	23,9	23,4	35,66	35,14	38,24	39,53
15	20,1	19,8	22,9	22	48,06	48,84	40,83	43,15
20	16,9	16,87	15,6	20,6	56,33	56,41	59,69	46,77
25	15,6	14,9	13,5	13,1	59,69	61,50	65,12	66,15
30	15,1	14,2	11,8	10,8	60,98	63,31	69,51	72,09
40	13,6	13,2	11,5	10,7	64,86	65,89	70,28	72,35
50	11,6	10,3	10,2	9	70,03	73,39	73,64	76,74
60	8,7	10,1	8,5	8,5	77,52	73,90	78,04	78,04
70	8,6	9,3	8,4	8,5	77,78	75,97	78,29	78,04
80	8,4	8,9	8,3	8,7	78,29	77,00	78,55	77,52
100	8,6	9,7	7	8,3	77,78	74,94	81,91	78,55
120	8,5	8,5	8,2	7,3	78,04	78,04	78,81	81,14

TABLA No 4.18CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 3 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Invierno			
Ensayo No					3			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					625 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					37,8			
pH:					7,95			
Temperatura:					15,8			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	34,3	30,7	30,5	26,3	9,26	18,78	19,31	30,42
10	26,3	25,3	23,7	23,3	30,42	33,07	37,30	38,36
15	21,3	19,8	23,5	21,3	43,65	47,62	37,83	43,65
20	16,7	17,7	15,8	20,8	55,82	53,17	58,20	44,97
25	15,4	14,7	13,2	12,6	59,26	61,11	65,08	66,67
30	14,4	14,2	12,2	10	61,90	62,43	67,72	73,54
40	13,4	13	11,7	9,4	64,55	65,61	69,05	75,13
50	11,4	9,9	9,3	9,3	69,84	73,81	75,40	75,40
60	8,8	10,2	8,7	8	76,72	73,02	76,98	78,84
70	8,6	9,3	9	8,6	77,25	75,40	76,19	77,25
80	8,5	9,1	8,7	8,2	77,51	75,93	76,98	78,31
100	8,7	9,7	7,2	8,8	76,98	74,34	80,95	76,72
120	8,3	8,2	8,5	6,8	78,04	78,31	77,51	82,01

TABLA No 4.19CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 3 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra		Invierno						
Ensayo No		4						
Datos del coagulante								
Coagulante empleado		Alumbre tipo B						
Concentración del coagulante puro		4000 ppm						
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.		625 ml						
Datos iniciales								
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo						
Turbiedad (UNT):		39,5						
pH:		7,96						
Temperatura:		16,9						
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1		10 cm						
Altura de la boquilla No 2		50 cm						
Altura de la boquilla No 3		90 cm						
Altura de la boquilla No 4		130 cm						
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	33,1	31,1	30,6	27,6	16,20	21,27	22,53	30,13
10	25,3	24,7	23,6	23,2	35,95	37,47	40,25	41,27
15	20,3	19,5	23,1	22,2	48,61	50,63	41,52	43,80
20	17,4	17,27	15,8	19,4	55,95	56,28	60,00	50,89
25	15,8	15,2	13,1	12,7	60,00	61,52	66,84	67,85
30	15,2	14,6	12,1	11	61,52	63,04	69,37	72,15
40	13,8	13,6	11,7	10,9	65,06	65,57	70,38	72,41
50	12	10,7	10,6	9,3	69,62	72,91	73,16	76,46
60	8,9	9,9	8,7	8,7	77,47	74,94	77,97	77,97
70	9,2	9,7	8,2	8,3	76,71	75,44	79,24	78,99
80	8,6	9,3	8,5	8,9	78,23	76,46	78,48	77,47
100	8,7	9,8	6,8	8,6	77,97	75,19	82,78	78,23
120	8,7	8,9	8,4	7,5	77,97	77,47	78,73	81,01

TABLA No 4.20CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 3 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra		Invierno						
Ensayo No		5						
Datos del coagulante								
Coagulante empleado		Alumbre tipo B						
Concentración del coagulante puro		4000 ppm						
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.		625 ml						
Datos iniciales								
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo						
Turbiedad (UNT):		36,7						
pH:		7,97						
Temperatura:		16,2						
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1		10 cm						
Altura de la boquilla No 2		50 cm						
Altura de la boquilla No 3		90 cm						
Altura de la boquilla No 4		130 cm						
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	33,3	29,8	30,9	26,8	9,26	18,80	15,80	26,98
10	25,3	24,4	24,1	23,4	31,06	33,51	34,33	36,24
15	20,3	19,1	23,7	21,8	44,69	47,96	35,42	40,60
20	17,3	16,8	16,2	20,6	52,86	54,22	55,86	43,87
25	16,6	14	13,6	13	54,77	61,85	62,94	64,58
30	15	13,3	12,3	10,5	59,13	63,76	66,49	71,39
40	13,8	12,1	12,1	9,9	62,40	67,03	67,03	73,02
50	12	9,4	9,4	9,2	67,30	74,39	74,39	74,93
60	9,1	9,3	9,1	8,5	75,20	74,66	75,20	76,84
70	8,9	8,4	9	9,1	75,75	77,11	75,48	75,20
80	8,8	8,4	9,1	8,7	76,02	77,11	75,20	76,29
100	9,3	8,8	7,6	8,8	74,66	76,02	79,29	76,02
120	8,9	7,3	9,1	7,3	75,75	80,11	75,20	80,11

TABLA No 4.21 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 4 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra		Invierno						
Ensayo No		1						
Datos del coagulante								
Coagulante empleado		Alumbre tipo B						
Concentración del coagulante puro		4000 ppm						
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.		500 ml						
Datos iniciales								
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo						
Turbiedad (UNT):		41,7						
pH:		7,65						
Temperatura:		16,1						
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1		10 cm						
Altura de la boquilla No 2		50 cm						
Altura de la boquilla No 3		90 cm						
Altura de la boquilla No 4		130 cm						
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	36	32,7	31	29,7	13,67	21,58	25,66	28,78
10	28	27,3	26,7	24,7	32,85	34,53	35,97	40,77
15	23	21,8	21,7	21,1	44,84	47,72	47,96	49,40
20	20	17,7	16	15,9	52,04	57,55	61,63	61,87
25	18,7	12,7	9,7	8,9	55,16	69,54	76,74	78,66
30	13,7	8,7	7,7	7,1	67,15	79,14	81,53	82,97
40	11,7	5,7	4,7	4,4	71,94	86,33	88,73	89,45
50	8,7	3,7	3,2	3,1	79,14	91,13	92,33	92,57
60	4,7	3,5	2,1	1,9	88,73	91,61	94,96	95,44
70	3,7	3,2	2,8	1,7	91,13	92,33	93,29	95,92
80	3,6	4,3	2,7	1,8	91,37	89,69	93,53	95,68
100	4,7	3,8	1,8	2,1	88,73	90,89	95,68	94,96
120	3,8	2,7	2,1	1,8	90,89	93,53	94,96	95,68

TABLA No 4.22CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 4 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Invierno			
Ensayo No					2			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					500 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					41,1			
pH:					7,83			
Temperatura:					16,7			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	35,4	33,2	30,3	29,3	13,87	19,22	26,28	28,71
10	27,4	27,6	26,4	24,3	33,33	32,85	35,77	40,88
15	22,6	22,3	20,8	20,9	45,01	45,74	49,39	49,15
20	19,4	17,37	15,3	15,5	52,80	57,74	62,77	62,29
25	18,1	13,2	9,5	8,5	55,96	67,88	76,89	79,32
30	13,6	9,2	7	7	66,91	77,62	82,97	82,97
40	11,1	6,4	4	4,8	72,99	84,43	90,27	88,32
50	8,1	4,2	3,9	2,7	80,29	89,78	90,51	93,43
60	4,1	3,9	1,4	1,5	90,02	90,51	96,59	96,35
70	3,2	3,7	2,1	1	92,21	91,00	94,89	97,57
80	3	4,4	1,8	1,4	92,70	89,29	95,62	96,59
100	3,8	4,3	1,1	1,2	90,75	89,54	97,32	97,08
120	3,2	3,5	1,1	1,4	92,21	91,48	97,32	96,59

TABLA No 4.23CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 4 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra		Invierno						
Ensayo No		3						
Datos del coagulante								
Coagulante empleado		Alumbre tipo B						
Concentración del coagulante puro		4000 ppm						
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.		500 ml						
Datos iniciales								
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo						
Turbiedad (UNT):		40,2						
pH:		7,63						
Temperatura:		16,2						
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1		10 cm						
Altura de la boquilla No 2		50 cm						
Altura de la boquilla No 3		90 cm						
Altura de la boquilla No 4		130 cm						
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	36,8	33,2	30,5	28,8	8,46	17,41	24,13	28,36
10	28,8	27,8	26,2	24,2	28,36	30,85	34,83	39,80
15	23,8	22,3	21,4	20,2	40,80	44,53	46,77	49,75
20	19,2	18,2	15,5	15,7	52,24	54,73	61,44	60,95
25	17,9	13	9,2	8	55,47	67,66	77,11	80,10
30	12,9	9,2	7,4	6,2	67,91	77,11	81,59	84,58
40	10,9	6,2	4,2	3,5	72,89	84,58	89,55	91,29
50	7,9	3,8	3	3	80,35	90,55	92,54	92,54
60	4,2	4	1,6	1	89,55	90,05	96,02	97,51
70	3,2	3,7	2,7	1,1	92,04	90,80	93,28	97,26
80	3,1	4,6	2,2	0,9	92,29	88,56	94,53	97,76
100	3,9	4,3	1,3	1,7	90,30	89,30	96,77	95,77
120	3	3,2	1,4	0,9	92,54	92,04	96,52	97,76

TABLA No 4.24 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 4 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra		Invierno						
Ensayo No		4						
Datos del coagulante								
Coagulante empleado		Alumbre tipo B						
Concentración del coagulante puro		4000 ppm						
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.		500 ml						
Datos iniciales								
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo						
Turbiedad (UNT):		41						
pH:		7,7						
Temperatura:		15,4						
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1		10 cm						
Altura de la boquilla No 2		50 cm						
Altura de la boquilla No 3		90 cm						
Altura de la boquilla No 4		130 cm						
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	35,6	33,6	30,6	30,1	13,17	18,05	25,37	26,59
10	27,8	27,2	26,1	24,1	32,20	33,66	36,34	41,22
15	22,8	22	21	21,1	44,39	46,34	48,78	48,54
20	19,9	17,77	15,5	14,3	51,46	56,66	62,20	65,12
25	18,3	13,5	9,1	8,1	55,37	67,07	77,80	80,24
30	13,7	9,6	7,3	7,2	66,59	76,59	82,20	82,44
40	11,3	6,8	4,2	5	72,44	83,41	89,76	87,80
50	8,5	4,6	4,3	3	79,27	88,78	89,51	92,68
60	4,3	3,7	1,6	1,7	89,51	90,98	96,10	95,85
70	3,8	4,1	1,9	0,8	90,73	90,00	95,37	98,05
80	3,2	4,8	2	1,6	92,20	88,29	95,12	96,10
100	3,9	4,4	0,9	1,5	90,49	89,27	97,80	96,34
120	3,4	3,9	1,3	1,6	91,71	90,49	96,83	96,10

TABLA No 4.25CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 4 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Invierno			
Ensayo No					5			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					500 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					41,9			
pH:					7,4			
Temperatura:					16,1			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	35,8	32,3	30,9	29,3	14,56	22,91	26,25	30,07
10	27,8	26,9	26,6	24,3	33,65	35,80	36,52	42,00
15	22,8	21,6	21,6	20,7	45,58	48,45	48,45	50,60
20	19,8	17,3	15,9	15,5	52,74	58,71	62,05	63,01
25	19,1	12,3	9,6	8,4	54,42	70,64	77,09	79,95
30	13,5	8,3	7,5	6,7	67,78	80,19	82,10	84,01
40	11,3	5,3	4,6	4	73,03	87,35	89,02	90,45
50	8,5	3,3	3,1	2,9	79,71	92,12	92,60	93,08
60	4,5	3,1	2	1,5	89,26	92,60	95,23	96,42
70	3,5	2,8	2,7	1,6	91,65	93,32	93,56	96,18
80	3,4	3,9	2,6	1,4	91,89	90,69	93,79	96,66
100	4,5	3,4	1,7	1,7	89,26	91,89	95,94	95,94
120	3,6	2,3	2	1,4	91,41	94,51	95,23	96,66

TABLA No 4.26CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 5 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra		Invierno						
Ensayo No		1						
Datos del coagulante								
Coagulante empleado		Alumbre tipo B						
Concentración del coagulante puro		4000 ppm						
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.		625 ml						
Datos iniciales								
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo						
Turbiedad (UNT):		42,5						
pH:		7,75						
Temperatura:		15,5						
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1		10 cm						
Altura de la boquilla No 2		50 cm						
Altura de la boquilla No 3		90 cm						
Altura de la boquilla No 4		130 cm						
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,9	31,1	25,4	28,3	24,94	26,82	40,24	33,41
10	31,5	30,9	20,3	21,8	25,88	27,29	52,24	48,71
15	31,4	30,6	20,4	20,3	26,12	28,00	52,00	52,24
20	31	24,6	20	19,9	27,06	42,12	52,94	53,18
25	25,1	22,2	18,8	16,4	40,94	47,76	55,76	61,41
30	18,4	18,2	15,7	14,4	56,71	57,18	63,06	66,12
40	15,4	16,4	15	13,2	63,76	61,41	64,71	68,94
50	11,9	11,6	11,3	10,9	72,00	72,71	73,41	74,35
60	11,8	11,5	11,1	10,6	72,24	72,94	73,88	75,06
70	10,73	10	9,86	11,13	74,75	76,47	76,80	73,81
80	7,08	7,9	8	8,9	83,34	81,41	81,18	79,06
100	8,1	9,2	8,2	8,9	80,94	78,35	80,71	79,06
120	7,9	8,9	8,2	2,4	81,41	79,06	80,71	94,35

TABLA No 4.27CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 5 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra					Invierno			
Ensayo No					2			
Datos del coagulante								
Coagulante empleado					Alumbre tipo B			
Concentración del coagulante puro					4000 ppm			
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.					625 ml			
Datos iniciales								
Fuente de la muestra					Quebrada el cuscungo			
Turbiedad (UNT):					43,3			
pH:					7,6			
Temperatura:					15,8			
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1					10 cm			
Altura de la boquilla No 2					50 cm			
Altura de la boquilla No 3					90 cm			
Altura de la boquilla No 4					130 cm			
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	32	31,2	25,5	28,7	26,10	27,94	41,11	33,72
10	31,6	30,7	20,4	21,6	27,02	29,10	52,89	50,12
15	31,5	30,4	20,5	20,4	27,25	29,79	52,66	52,89
20	30,8	25	19,8	19,7	28,87	42,26	54,27	54,50
25	25,2	22,3	18,9	16,5	41,80	48,50	56,35	61,89
30	18,5	18	15,8	14,5	57,27	58,43	63,51	66,51
40	15,8	16,5	14,8	13,3	63,51	61,89	65,82	69,28
50	13,7	15,2	13,23	12,93	68,36	64,90	69,45	70,14
60	12,63	12,9	13,14	13,2	70,83	70,21	69,65	69,52
70	10,83	10,4	9,66	11,23	74,99	75,98	77,69	74,06
80	7,48	8,3	8,1	8,7	82,73	80,83	81,29	79,91
100	8,3	8,7	8,9	9,6	80,83	79,91	79,45	77,83
120	8,2	9,1	8,4	7	81,06	78,98	80,60	83,83

TABLA No 4.28 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 5 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra		Invierno						
Ensayo No		3						
Datos del coagulante								
Coagulante empleado		Alumbre tipo B						
Concentración del coagulante puro		4000 ppm						
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.		625 ml						
Datos iniciales								
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo						
Turbiedad (UNT):		45,6						
pH:		8,1						
Temperatura:		16,2						
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1		10 cm						
Altura de la boquilla No 2		50 cm						
Altura de la boquilla No 3		90 cm						
Altura de la boquilla No 4		130 cm						
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	32,1	31,3	25,6	28,5	29,61	31,36	43,86	37,50
10	31,7	31,1	20,5	21,7	30,48	31,80	55,04	52,41
15	31,6	30,5	20,9	20,5	30,70	33,11	54,17	55,04
20	30,9	25,1	20,2	19,8	32,24	44,96	55,70	56,58
25	25,3	22,4	19	16,6	44,52	50,88	58,33	63,60
30	18,9	18,1	16,2	14,6	58,55	60,31	64,47	67,98
40	15,6	16,6	15,2	13,4	65,79	63,60	66,67	70,61
50	13,8	15,3	13,33	13,03	69,74	66,45	70,77	71,43
60	13,03	13	13,24	13,3	71,43	71,49	70,96	70,83
70	10,93	10,2	9,76	11,63	76,03	77,63	78,60	74,50
80	7,28	8,4	8,5	9,1	84,04	81,58	81,36	80,04
100	7,5	8,5	8,9	9,6	83,55	81,36	80,48	78,95
120	8,2	9,1	8,4	7	82,02	80,04	81,58	84,65

TABLA No 4.29 CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 5 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra		Invierno						
Ensayo No		4						
Datos del coagulante								
Coagulante empleado		Alumbre tipo B						
Concentración del coagulante puro		4000 ppm						
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.		625 ml						
Datos iniciales								
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo						
Turbiedad (UNT):		44,1						
pH:		7,91						
Temperatura:		16,5						
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1		10 cm						
Altura de la boquilla No 2		50 cm						
Altura de la boquilla No 3		90 cm						
Altura de la boquilla No 4		130 cm						
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	31,9	31,4	25,7	28,6	27,66	28,80	41,72	35,15
10	31,8	30,9	20,9	22,1	27,89	29,93	52,61	49,89
15	31,7	30,9	20,7	20,6	28,12	29,93	53,06	53,29
20	31	25,2	20	20,2	29,71	42,86	54,65	54,20
25	25,4	22,8	19,1	16,7	42,40	48,30	56,69	62,13
30	19	18,2	16,3	14,7	56,92	58,73	63,04	66,67
40	15,7	17	15	13,5	64,40	61,45	65,99	69,39
50	13,9	15,4	13,43	13,43	68,48	65,08	69,55	69,55
60	12,83	13,1	13,64	13,4	70,91	70,29	69,07	69,61
70	11,33	10,3	10,16	11,43	74,31	76,64	76,96	74,08
80	7,38	8,2	8,3	9,2	83,27	81,41	81,18	79,14
100	7,6	8,4	8,6	9,7	82,77	80,95	80,50	78,00
120	7,1	8,1	9,1	10,3	83,90	81,63	79,37	76,64

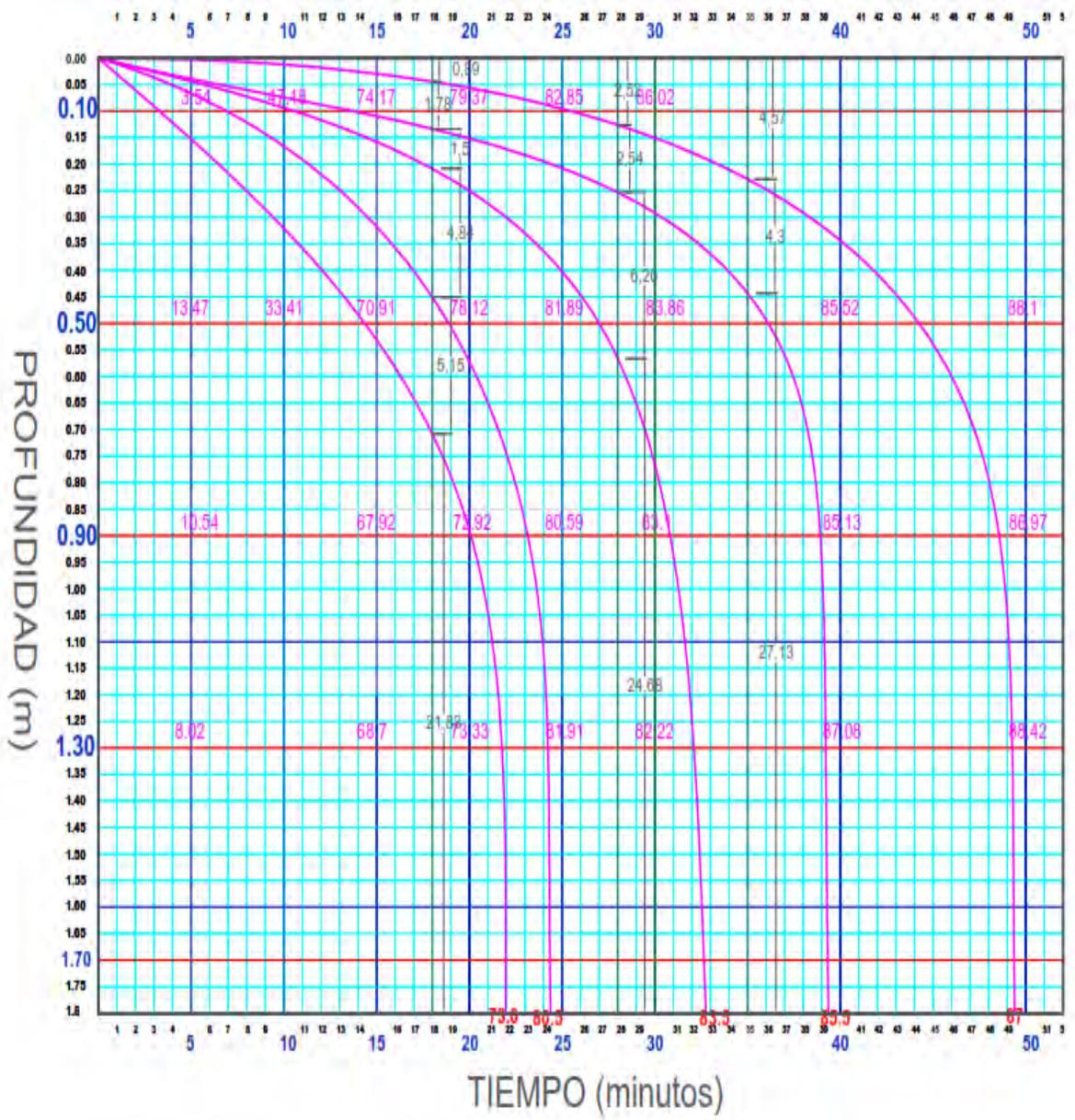
TABLA No 4.30CONCENTRACION DE COAGULANTE AI 5 %

UNIVERSIDAD DE NARIÑO ENSAYO EN TORRE DE SEDIMENTACION Determinación del porcentaje de remoción								
Época de toma de la muestra		Invierno						
Ensayo No		5						
Datos del coagulante								
Coagulante empleado		Alumbre tipo B						
Concentración del coagulante puro		4000 ppm						
Dosificación óptima de coagulante para 50 lt.		625 ml						
Datos iniciales								
Fuente de la muestra		Quebrada el cuscungo						
Turbiedad (UNT):		42,8						
pH:		7,93						
Temperatura:		15,7						
Altura de las boquillas								
Altura del a boquilla No 1		10 cm						
Altura de la boquilla No 2		50 cm						
Altura de la boquilla No 3		90 cm						
Altura de la boquilla No 4		130 cm						
Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5	32,3	31,2	26,1	29	24,53	27,10	39,02	32,24
10	31,6	31,3	20,4	22,2	26,17	26,87	52,34	48,13
15	31,5	31	20,5	21	26,40	27,57	52,10	50,93
20	31,4	24,7	20,4	19,7	26,64	42,29	52,34	53,97
25	25,2	22,3	18,9	17,1	41,12	47,90	55,84	60,05
30	19,1	18	16,4	14,5	55,37	57,94	61,68	66,12
40	16,1	16,5	14,8	13,9	62,38	61,45	65,42	67,52
50	14,3	15,5	13,83	12,93	66,59	63,79	67,69	69,79
60	12,63	13,5	13,14	13,8	70,49	68,46	69,30	67,76
70	10,83	10,1	9,66	11,23	74,70	76,40	77,43	73,76
80	7,18	8	8,1	9,3	83,22	81,31	81,07	78,27
100	7,2	8,1	8,6	9	83,18	81,07	79,91	78,97
120	6,8	8,9	8,4	9,8	84,11	79,21	80,37	77,10

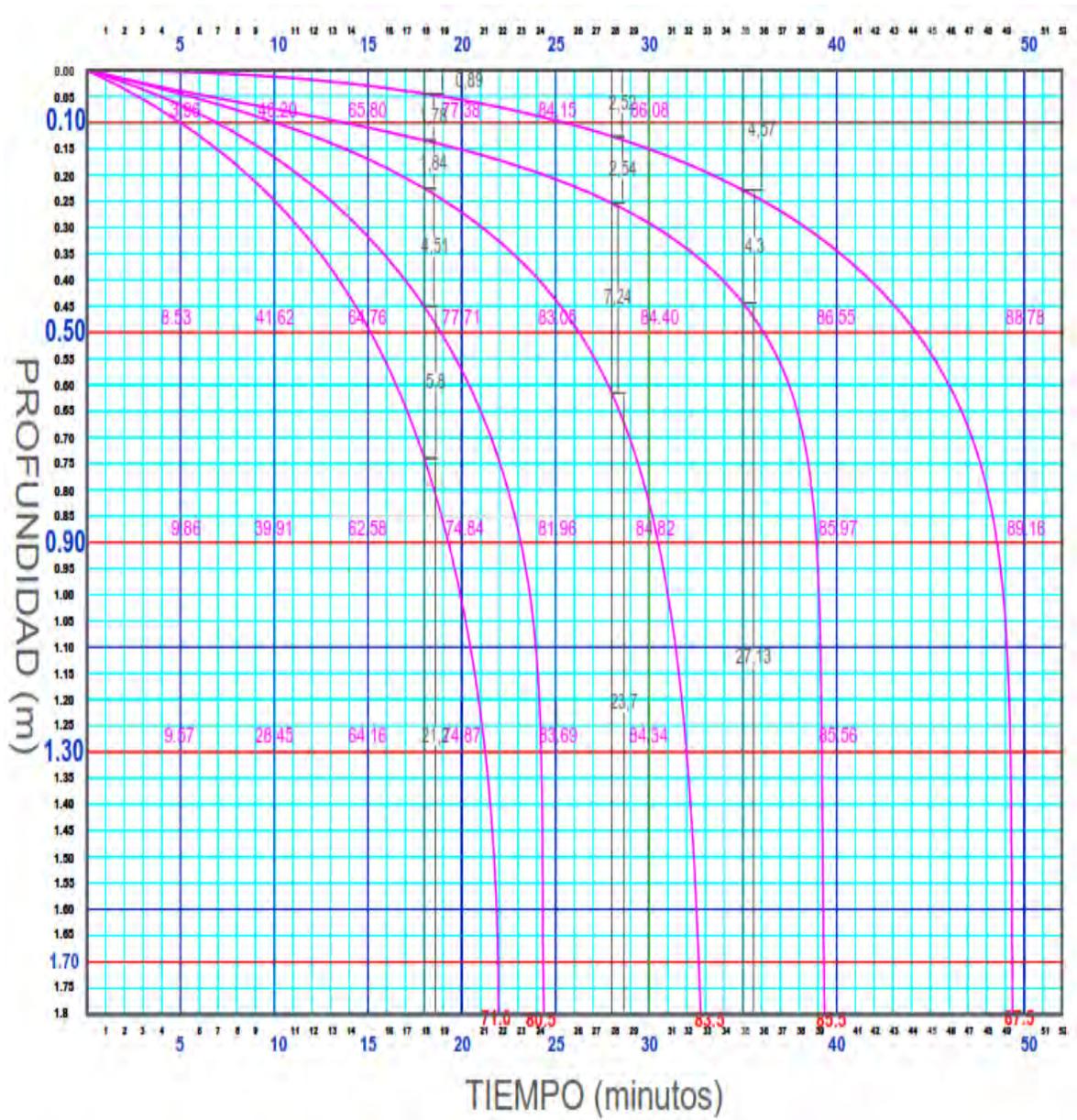
ANEXO E

Registro de trazado de curvas de isoremoción.

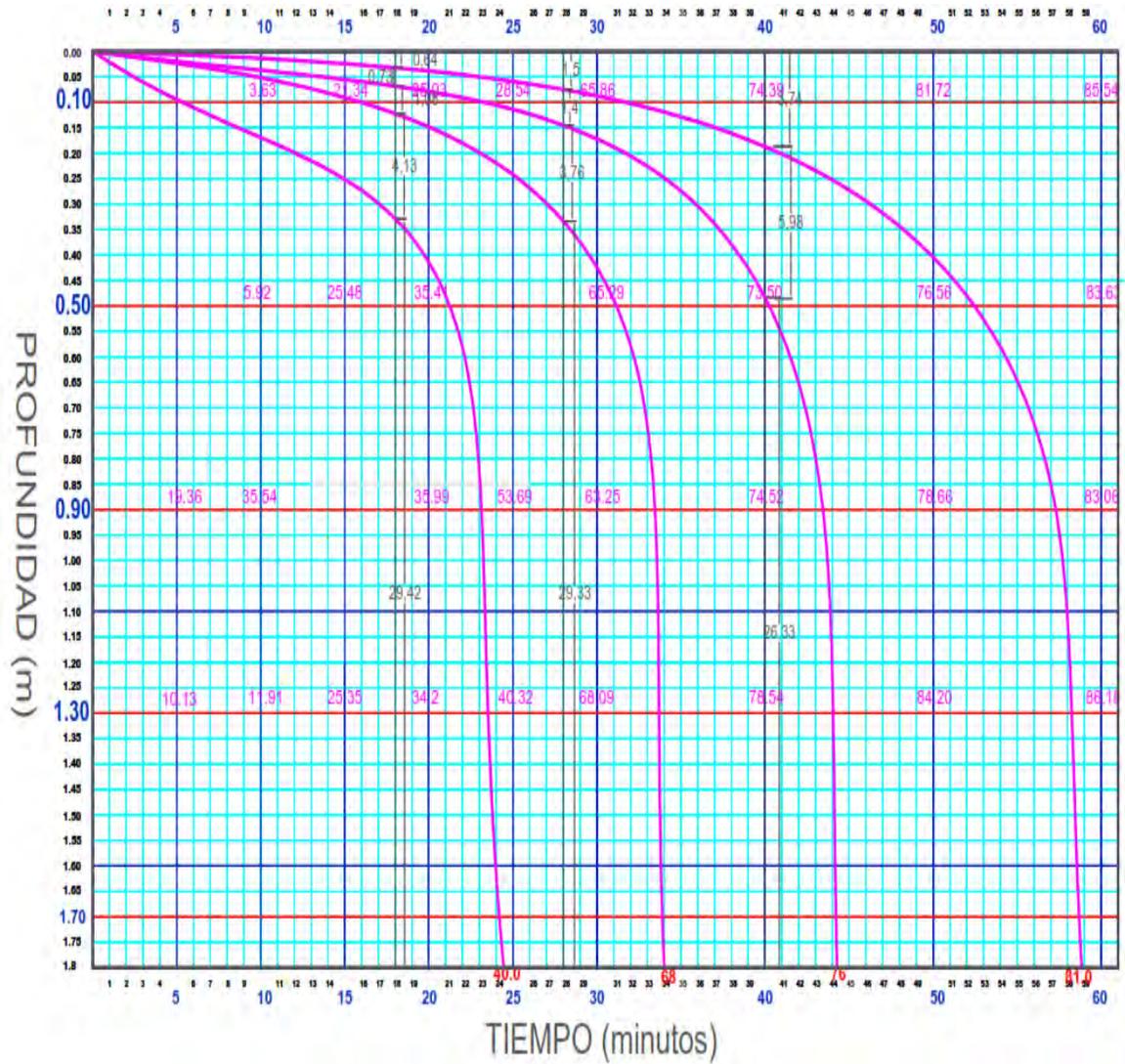
Grafica No.5.1 de isoremoción calibración universidad mariana



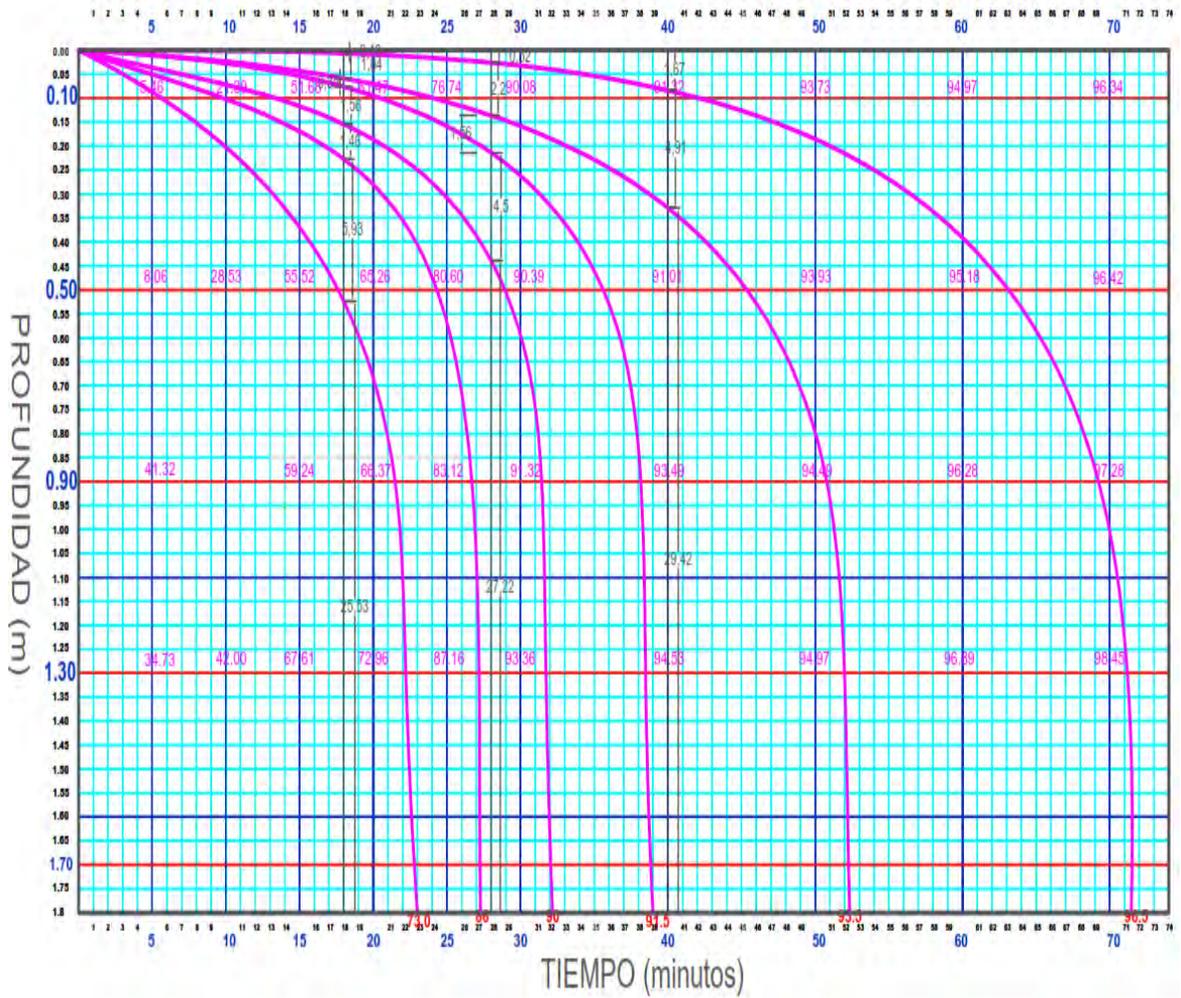
Grafica No.5.2 de isoremovición calibración Universidad de Nariño



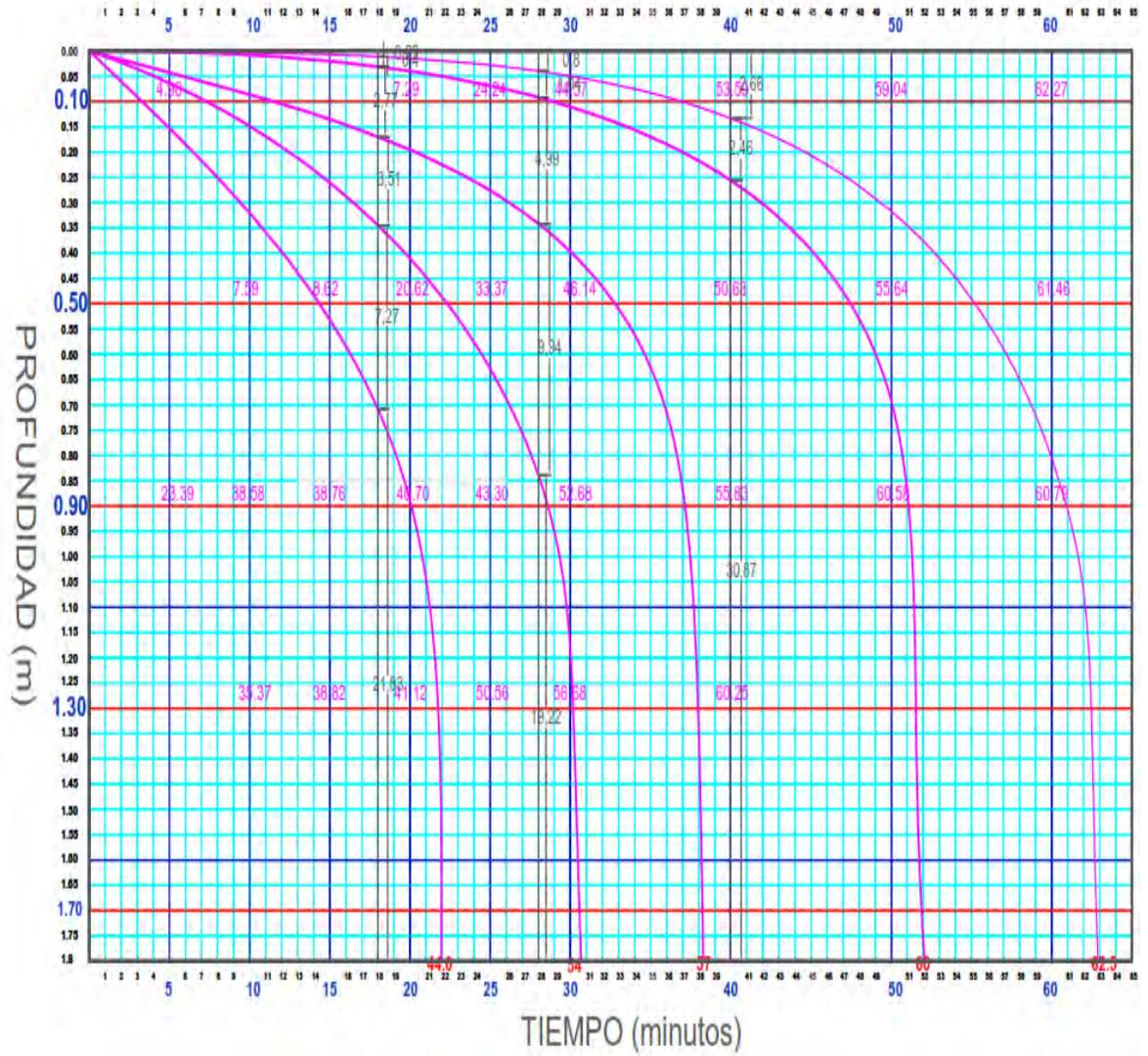
**Grafica No.5.3 de isoremoción concentración al 2%
En verano**



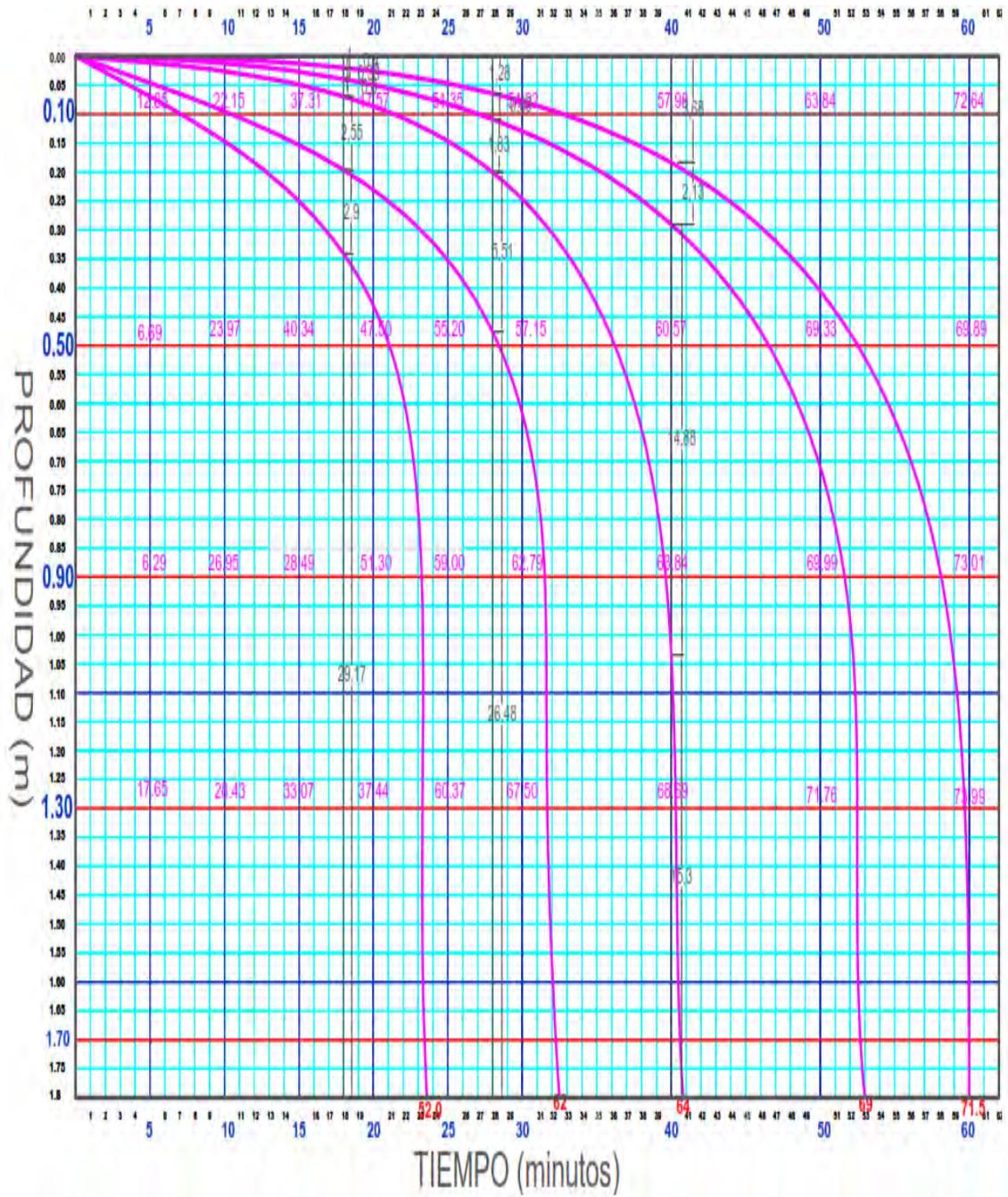
**Grafica No.5.4 de isoremoción concentración al 3%
En verano**



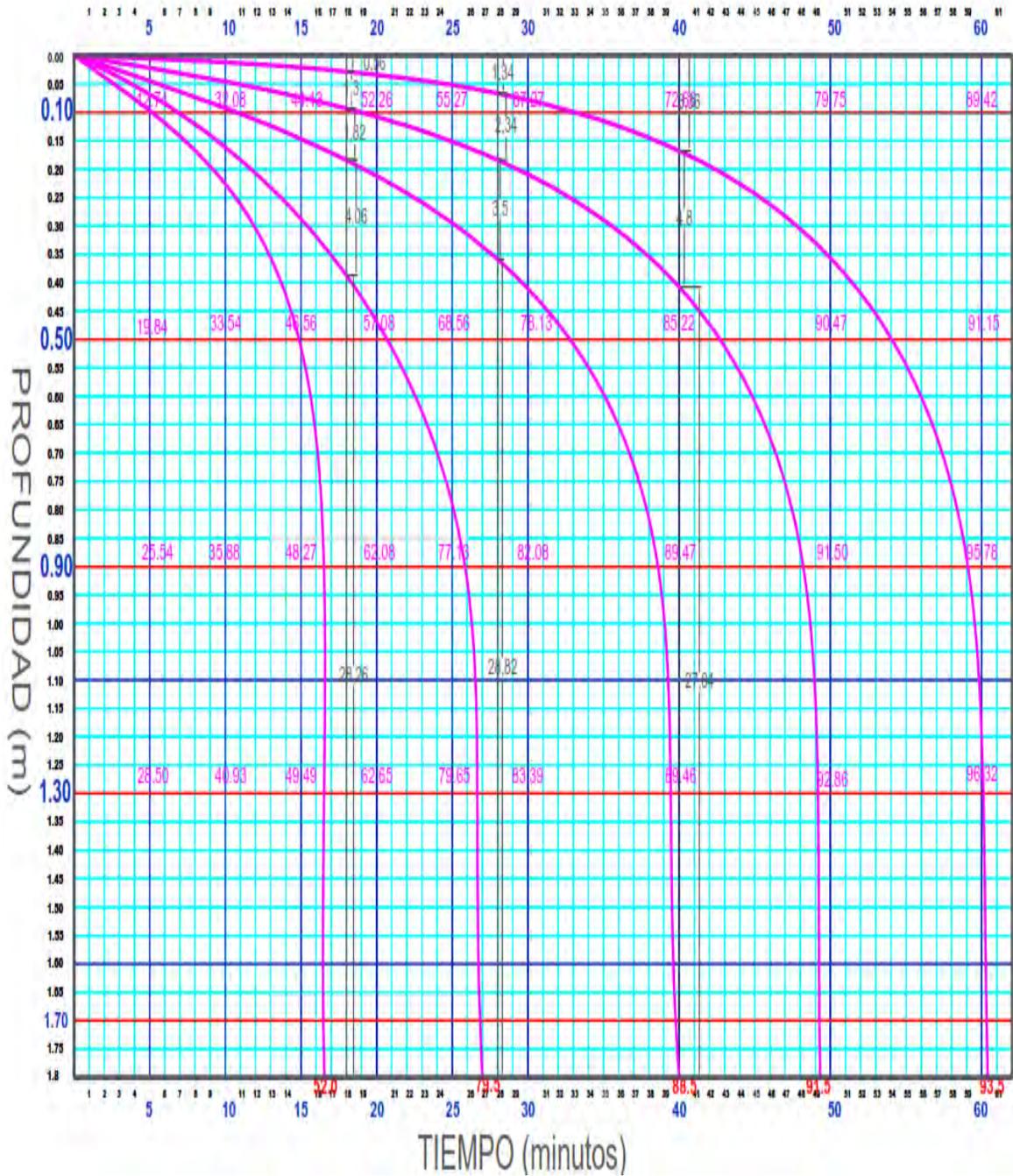
**Grafica No.5.5 de isoremocion concentracion al 4%
En verano**



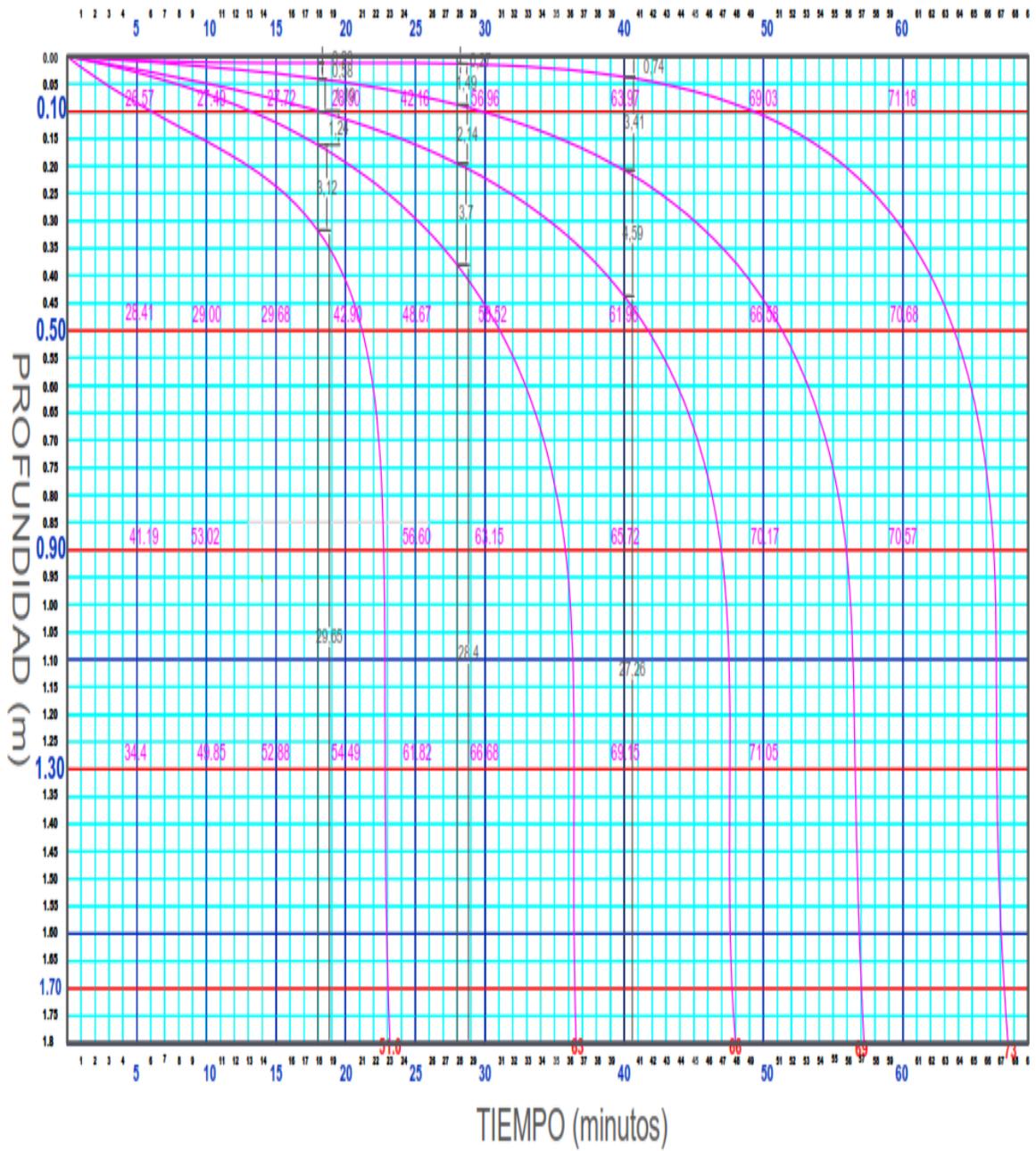
**Grafica No.5.6 de isoremoción concentración al 3%
En Invierno**



**Grafica No.5.7 de isoremocion concentracion al 4%
En Invierno**



**Grafica No.5.8 de isoremolición concentración al 5%
En Invierno**



ANEXO F

Protocolos del ensayo de Torres de sedimentación.

	SECCION DE LABORATORIOS GUIA: ENSAYO DE TORRE DE SEDIMENTACION DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE REMOCION	Código:
		Página 1 de 6
		Versión: 1
		Vigente a partir de 2014-06-01

ENSAYO DE TORRE DE SEDIMENTACION

1.1 INTRODUCCIÓN

La sedimentación es uno de los procesos más ampliamente usados para el mejoramiento de la calidad humana se entiende por sedimentación la remoción de las partículas en suspensión en un fluido y que tengan peso específico mayor al mismo estas partículas sedimentan cuando las fuerzas de gravedad logran vencer las fuerzas de inercia y viscosidad que actúan sobre dichas partículas.

1.2 OBJETIVOS

Analizar el comportamiento de la sedimentación medido como eficiencia de remoción en una columna de sedimentación.

Determinar a escala de laboratorio los parámetros que intervienen en el proceso de sedimentación de partículas en sistemas de tratamiento de agua para consumo humano

Determinar las curvas de isoremoción con los datos de turbiedad a diferentes tiempos y profundidades

1.3 MATERIALES - EQUIPOS

1.3.1 EQUIPOS

- Torre de sedimentación
- Turbidímetro
- Termómetro (si no está incluido en el pH-metro)
- pH-metro
- pipeta de 10 ml
- Agitador
- Balde aforado de 10 litros

	SECCION DE LABORATORIOS GUIA: ENSAYO DE TORRE DE SEDIMENTACION DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE REMOCION	Código:
		Página 1 de 6
		Versión: 1
		Vigente a partir de 2014-06-01

- Balde aforado a 50 litros
- Cronómetro
- 4 Beakers de 50 ml

1.3.2 MATERIALES

- Coagulante seleccionado
- Muestra de agua a tratar

1.4 FUNDAMENTO TEÓRICO

La sedimentación convencional ha sido mayormente estudiada pues se ajusta a los principios de igualdad de fuerzas. Así cuando una partícula cae, la fuerza que le permite caer es la diferencia entre la fuerza gravitacional que la empuja hacia abajo y la fuerza que ejerce el peso del volumen del líquido y que la empuja hacia arriba conocida como Principio de Arquímedes.

Teóricamente hay 4 tipos de sedimentación:

1. La sedimentación tipo I, denominada “Sedimentación discreta o Sedimentación convencional” se da en bajas concentraciones de partículas con poca o nula tendencia a flocular. Se considera que se realiza con partículas discretas, es decir aquellas partículas que no se alteran, afectan o cambian de forma, tamaño o densidad en el proceso de sedimentación. La sedimentación tipo I se presenta en desarenadores o sedimentadores convencionales.
2. La sedimentación tipo II, denominada “Sedimentación Floculenta” se da en bajas concentraciones de partículas pero con coalescencia o tendencia a flocular.
3. La sedimentación tipo III, denominada “Sedimentación Retardada o Zonal” se da en concentraciones relativas de partículas que participan en fenomenitos de coagulación.

	SECCION DE LABORATORIOS GUIA: ENSAYO DE TORRE DE SEDIMENTACION DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE REMOCION	Código:
		Página 1 de 6
		Versión: 1
		Vigente a partir de 2014-06-01

4. La sedimentación tipo IV, denominada “Sedimentación por compresión” se da en altas concentraciones de partículas cuya sedimentación se dá por compresión de la capa de lodo.

Los principales factores que influyen en el proceso de sedimentación son:

Naturaleza del agua cruda: Las variaciones de concentraciones de materia en suspensión modifican en primer lugar la forma de sedimentación de partículas (con caída libre o interferida) así como las propiedades de las partículas modifican la forma de depósito (sedimentación para partículas discretas y decantación para partículas floculentas).

Condiciones hidráulicas: Los criterios y parámetros hidráulicos de diseño tienen gran influencia en la eficiencia de los sedimentadores o decantadores.

Factores externos: Factores alternos al proceso como el acondicionamiento previo procesos operacionales (coagulación, floculación) y los factores ambientales son las que tiene más influencia en la eficiencia de un sedimentador.

La teoría de sedimentación de partículas discretas se utiliza para el diseño de desarenadores en la mayoría de los casos se utiliza sedimentadores después de coagulación- floculación, proceso que en este caso toma nombre de sedimentación de material floculento. Se define como la partícula floculenta aquella producida por la unión de partículas coloidales por medio de agentes químicos. Se denomina “sedimentación floculenta ó decantación”, al proceso de depósito de partículas floculentas las cuales cambian de características (forma, tamaño, densidad, resistencia) durante el proceso.

Para determinar la eficiencia de las unidades de sedimentación de partículas floculentas es necesario recurrir a procedimientos teóricos- Experimentales, tal como se lo indica en la siguiente ecuación:

	SECCION DE LABORATORIOS GUIA: ENSAYO DE TORRE DE SEDIMENTACION DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE REMOCION	Código:
		Página 1 de 6
		Versión: 1
		Vigente a partir de 2014-06-01

$$\%RT = R + \left[\frac{h1}{H} \Delta R1 + \frac{h2}{H} \Delta R1 + \frac{h3}{H} \Delta R1 + \dots + \frac{hn}{H} \Delta Rn \right]$$

Ec. 1.1

Es bueno anotar que una buena o inadecuada coagulación y floculación pueden ocasionar altas o bajas eficiencias adicionalmente variaciones de concentración de

Partículas o de temperatura producen variaciones de densidad del agua y originan corrientes cinéticas o térmicas (cortocircuitos).

Los ensayos de laboratorio más utilizados para determinar las propiedades de las suspensiones son sedimentación convencional (columna de sedimentación) y sedimentación de alta tasa (prueba de Jarras).

1.5 PROCEDIMIENTO

El procedimiento para evaluar sedimentación primaria (anterior a coagulación-floculación) es el siguiente:

Condiciones iniciales de la muestra:

1. Tomar 50 litros de muestra de agua de agua superficial
2. Mezcle y Homogenice el agua de estudio. Tome una muestra para realizar las determinaciones de turbiedad inicial (UNT); PH; Temperatura (°C)
3. Lavar todo el equipo de vidrio y acrílico que se va a utilizar y el agitador a utilizar
4. Con base en los datos de dosificación óptima para el coagulante evaluado en el ensayo de Jarras determine el volumen de la solución madre de coagulante que se va a añadir para la coagulación de los 50 litros de agua a analizar

Efectos del tiempo de sedimentación en la remoción de turbiedad

	SECCION DE LABORATORIOS GUIA: ENSAYO DE TORRE DE SEDIMENTACION DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE REMOCION	Código:
		Página 1 de 6
		Versión: 1
		Vigente a partir de 2014-06-01

1. Mida 50 litros de agua a analizar en un tanque con la capacidad para realizar la simulación de mezcla rápida y mezcla lenta.
2. Añada el coagulante al tiempo que inicia el cronómetro y realice la mezcla rápida con el gradiente y el tiempo óptimo de coagulación entre 100 y 200 revoluciones por minuto (promedio 150 rpm) durante 20 segundos. Pasado este tiempo realice la mezcla lenta con el gradiente y el tiempo óptimo de floculación comprendida entre 30 y 60 revoluciones por minuto (promedio 40 rpm) en un tiempo entre 10 y 30 minutos (promedio 20 min).
3. Prepare el material para la toma de muestras, marcando cada uno de los beakers para cada llave donde se toma muestra.
4. Transfiera rápidamente el agua coagulada y floculada a la columna de sedimentación, llenando los 50 L medidos.
5. Abra y cierre las llaves de toma de muestras con el fin de eliminar el aire retenido.
6. Deje reposar por 5 minutos para anular las corrientes y remolinos que se generaron en el llenado.
7. Pasado este tiempo tome las muestras simultáneamente en las llaves de toma de muestras. Anote los valores y calcule el % de remoción con la turbiedad inicial.

$$\% \text{ Remocion} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}} * 100 \quad \text{Ec.1.2}$$

8. Tómese muestras para los tiempos tabulados en la tabla No y para el tiempo final tómese además los parámetros de PH y temperatura.

CALCULOS

Con los datos obtenidos:

1. En las coordenadas de profundidad h (metros) y tiempo de retención (min), ubique los datos de % remoción de turbiedad,
2. Obtenga las curvas de isoremoción, uniendo los puntos de igual eficiencia, los cuales deben estar entre el 10 y el 90% de remoción.

	SECCION DE LABORATORIOS GUIA: ENSAYO DE TORRE DE SEDIMENTACION DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE REMOCION	Código:
		Página 1 de 6
		Versión: 1
		Vigente a partir de 2014-06-01

3. Escoja 5 diferentes tiempos de retención, los cuales deben atravesar horizontalmente mínimo 4 curvas de isoremoción. Determine para cada uno los respectivos h_n y R_n .

4. Determine el porcentaje de remoción total para cada tiempo utilizando la siguiente fórmula:

$$\%Remocion\ Total = \sum \frac{h_n}{H} + \Delta R_n = \frac{h_1}{H} \Delta R_1 + \frac{h_2}{H} \Delta R_2 + \dots + \frac{h_n}{H} \Delta R_n$$

Donde:

R = Curva de isoremoción evaluada a una profundidad h (%)

h = Profundidad medida entre dos curvas de isoremoción

H = Profundidad total de la columna medida desde el nivel del agua hasta el fondo

ΔR = Remoción media entre dos curvas de isoremoción

5. Tabule los datos de tiempo de sedimentación y % de remoción total (%RT) para cada profundidad.

6. Elabore un gráfico Profundidad vs. %RT para los diferentes tiempos de sedimentación

7. Extraiga conclusiones con respecto a los valores de tiempo de sedimentación experimentales necesarias para la máxima remoción total alcanzada con la calidad de agua analizada.

	SECCION DE LABORATORIOS GUIA: ENSAYO DE TORRE DE SEDIMENTACION DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE REMOCION	Código:
		Página 1 de 6
		Versión: 1
		Vigente a partir de 2014-06-01

CUADRO 1.1- Parámetros del ensayo

Fuente de la muestra:

Datos iniciales		Datos finales	
Turbiedad (UNT):		Turbiedad (UNT):	
pH:		pH:	
Temperatura:		Temperatura:	

Altura de las boquillas	
Altura del a boquilla No 1, h1	10 cm
Altura de la boquilla No 2, h2	50 cm
Altura de la boquilla No 3,h3	90 cm
Altura de la boquilla No 4,h4	130 cm

Cuadro 1.2 Datos y procesamiento de datos

Datos y procesamiento de datos								
Tiempo (min)	Turbiedad Residual (UNT)				% Remoción. de turbiedad			
	h1	h2	h3	h4	h1	h2	h3	h4
5								
10								
15								
20								
25								
30								
40								
50								
60								
70								
80								

100								
120								