

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS:

**“SEPERACIÓN DE SÓLIDOS DE LA CORRIENTE
DE PURGA DE UNA PLANTA POTABILIZADORA
POR MEDIO DE CENTRIFUGACIÓN”**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:
LUIS MANUEL TORRES RÍOS

ASESOR:
DR. JOSÉ APOLINAR CORTÉS

MORELIA, MICHOACÁN, MARZO DE 2010

Dedicatorias

- *A dios por permitirme lograr esta meta tan importante en mi vida*
- *A mis padres Celina y Luis, gracias por todo su apoyo incondicional en todos esos momentos difíciles, gracias por todo su amor, comprensión y cariño, sin ustedes quizá no lo hubiese logrado, los quiero mucho.*
- *A mis hermanas Vía y Yolis, gracias por alentarme en esos momentos difíciles las admiro y respeto, siempre serán un ejemplo a seguir.*
- *A mi novia Nora, que ha siempre has sido y serás el amor de mi vida, gracias por todo tu incontable apoyo, gracias por comprenderme y aguantarme.*
- *A todos mis amigos y amigas, que estuvieron junto conmigo pasando por tantas cosas buenas y malas, sin importar lo que sucediera siempre estuvieron conmigo durante esta etapa tan bonita en mi vida.*
- *A todos mis maestros, gracias por todo el tiempo que me dedicaron y por todo el conocimiento que lograron desarrollar en mi*
- *A mi asesor Dr. José Apolinar, gracias por todo su apoyo brindado para realizar este proyecto, por todas esas horas de asesoría y por todo los conocimientos que compartió conmigo, por lo cual usted es un ejemplo a seguir*
- *A mis sinodales, gracias por hacerme ver mis errores y ayudarme a corregirlos actuando siempre con imparcialidad*



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROGRAMA ACREDITADO

Número de oficio.86 /2009/2010.

LUIS MANUEL TORRES RIOS
PASANTE DE INGENIERÍA QUÍMICA
P R E S E N T E.

En contestación a su atenta solicitud de fecha 28 de Septiembre de 2009 me permito comunicarle a Usted, que se aprueba el tema de Tesis propuesto para presentar Examen Recepcional en la Carrera de Ingeniero Químico.

El tema aprobado: "SEPARACIÓN DE SÓLIDOS DE LA CORRIENTE DE PURGA, DE UNA PLANTA POTABILIZADORA POR MEDIO DE CENTRIFUGACIÓN" el cual se desarrollará bajo el siguiente orden:

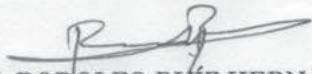
- I RESUMEN
- II INTRODUCCIÓN
- GENERALIDADES
- JUSTIFICACION
- OBJETIVOS
- HIPÓTESIS
- III DESARROLLO DEL TRABAJO (METODOLOGÍA)
- IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- V CONCLUSIONES Y RECOMENACIONES
- REFERENCIAS.

Además deberá de ajustarse al artículo 39 y 41, y podrá contemplar los puntos necesarios del artículo 40 de la reglamentación interna de la Facultad de Ingeniería Química en su capítulo VI.

Para tales efectos fungirá como asesor interno de su tesis el Profesor **DR. JOSÉ APOLINAR CORTÉS** profesor de la Facultad de Ingeniería Química. La mesa de jurado para revisión y realización de este trabajo estará integrada por:

M.C. GABRIEL MARTINEZ HERRERA	PRESIDENTE	(8303068-9)
M.C. OSCAR DONALDO ZAVALA AGUILERA	V O C A L	(8600422-0)
DR. JOSÉ APOLINAR CORTÉS	V O C A L	(82033374)
M.D.H. TERESA LOURDES LOPEZ GONZALEZ	SUPLENTE	(8600118-3)

A T E N T A M E N T E
Morelia, Mich. 02 de Octubre de 2009.


M.C. RODOLFO RUÍZ HERNÁNDEZ
DIRECTOR DE LA FACULTAD
DE INGENIERÍA QUÍMICA



Edificio "M" Planta Baja
Ciudad Universitaria

Tel/Fax 3-16-71-76
3-22-35-00 Ext. 3003

RESUMEN

Al llevarse a cabo el proceso de potabilización en la ciudad de Morelia se genera una corriente acuosa de purga la cual contiene arcilla en suspensión. Esta corriente es descargada a un canal que desemboca en el río chiquito de Morelia, provocando así la contaminación del mismo por los sólidos suspendidos (6.189 g L^{-1}) y los productos químicos ($\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3$) que se adicionan para llevar a cabo el proceso de potabilización. Esta corriente provoca en el cuerpo receptor, azolve por depósito de las partículas sólidas, disminución en la solubilidad del oxígeno, pigmentación rojiza del agua y bloqueo de la luz solar (lo que a su vez genera el bloqueo de las reacciones de fotosíntesis). El flujo en la purga que se elimina es del orden de $2721 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$. El darle tratamiento a ésta agua residual permitirá la separación de los sólidos y el reciclaje de agua, lo que permitirá tener cero descargas de agua.

En el presente trabajo se propuso el proceso de centrifugación con el fin de separar los sólidos suspendidos. Para la evaluación de dicha capacidad de separación, se realizaron las siguientes actividades: muestreo de la corriente de purga de la planta potabilizadora; determinación de la concentración de sólidos totales en la corriente; desarrollo de corridas experimentales de velocidad de centrifugación contra tiempo para diferentes concentraciones iniciales de sólidos y cuantificación de la capacidad de separación a través de la medición de la absorbancia de la parte clarificada. Con el fin de tener un parámetro de comparación sobre la eficiencia de separación entre la centrifugación y el proceso de sedimentación, se desarrollaron de manera paralela pruebas de sedimentación de partículas para las mismas concentraciones iniciales de sólidos.

Los resultados obtenidos de las diferentes pruebas indican, que en el caso de una concentración inicial constante y velocidad relativamente baja ($1000\text{-}2000\text{rpm}$) cobra relevancia el incremento del tiempo de centrifugación (de 1 a 15 minutos), ya que disminuye la turbidez en un orden del 50%.

Mientras que en una concentración inicial constante y velocidad alta (del orden de 12500 a 13400 rpm) el incremento en el tiempo de centrifugación no es tan importante, ya que la disminución de la turbidez entre ambas mediciones es en el orden de 20%. Con respecto a la comparación de la capacidad de separación en función de la velocidad de centrifugación para un mismo tiempo y misma concentración se observa que la centrifugación a alta velocidad (12,500 rpm) es mas eficiente que la separación que se logra a baja velocidad (1000 rpm) en el orden de 70%.

Los resultados de la sedimentación de partículas indican que la velocidad promedio de sedimentación fue del orden de 24 cm día^{-1} , valor que provoca que el diseño del sedimentador sea de un área muy grande (del orden de 1316.155m^2)

A manera de conclusión, con el proceso de centrifugación se logró la separación de los sólidos; la velocidad de centrifugación es más importante que el tiempo sin importar la variación de concentración; Para separar una muestra de la suspensión por sedimentación tiene que pasar un tiempo aproximado 4.166 horas. Mientras que para obtener un clarificado en mejores condiciones por centrifugación sólo es necesario un tiempo del orden de 2 a 15 minutos.

ÍNDICE

Capítulo 1

I. Introducción	1
1.1 Definición del problema	2

Capítulo 2

II. Generalidades	4
2.1. Justificación	4
2.2. Hipótesis	4
2.3. Objetivo general	4
2.3.1. Objetivos particulares	4
2.4. Procesos de separación por centrifugación	5
2.4.1. Fuerzas que se desarrollan en la separación por centrifugación	5
2.4.2. Ecuaciones para la fuerza centrífuga	6
2.5. Contaminantes químicos que afectan al ser humano	8
2.6. Proceso de tratamiento de potabilización del agua	10
2.6.1. Coagulación	10
2.6.1.1. Objetivo de la coagulación	11
2.6.1.2. Factores que afectan el proceso de coagulación	12
2.6.1.3. Efecto del pH sobre la coagulación	12
2.6.1.4. Coagulantes más usados y conocidos	12
2.6.1.4.1. Sales de aluminio y hierro	12
2.6.2. Floculación	13
2.6.2.1. Proceso de coagulación-floculación	13
2.6.2.2. Adición de los coagulantes	13
2.6.2.3. Dispersión de los coagulantes (mezcla rápida)	14
2.6.2.4. Aglutinación de partículas (mezcla lenta)	14
2.6.2.5. Clasificación de los floculadores	14
2.6.3. Sedimentación	14
2.6.4. Proceso de separación por Filtración	15

2.7. Proceso de tratamiento de agua que se lleva a cabo	
actualmente en la planta potabilizadora de la ciudad de Morelia	16
2.7.1. Agua de la presa de Cointzio	16
2.7.2. Descripción del procedimiento	17
2.7.3. Proceso de potabilización	17

Capítulo 3

III.- Trabajos realizados (metodología)	21
3.1. Determinación del tamaño de partícula de la corriente	
de purga de la planta potabilizadora	22
3.2. Determinación de la densidad y la viscosidad de la corriente	
de purga de la planta potabilizadora	22
3.2.1. Densidad	22
3.2.2. Viscosidad	22
3.3. Determinación de Concentración total de sólidos	
en la corriente de purga de la planta potabilizadora	24
3.4. Determinación de la velocidad de sedimentación	25
3.5. Pruebas de Centrifugación (3 corridas)	25
3.5.1. Primera corrida	26
3.5.2. Segunda corrida	27
3.5.3. Tercera corrida	28
3.6. Calculo de la potencia requerida en una centrifuga	28

Capítulo 4

IV. Análisis y discusión de resultados	29
4.1. Tamaño de partícula en la corriente de purga	
de la planta potabilizadora	29
4.2. Determinación de la densidad y la viscosidad de la corriente	
de purga de la planta potabilizadora	30

4.2.1. Densidad	30
4.2.2. Viscosidad	31
4.3 Determinación de Concentración total de sólidos en la corriente de purga de la planta potabilizadora	31
4.4. Corridas experimentales de Centrifugación	32
4.4.1. Primera corrida	32
4.4.1.1. Primera corrida a $Co/2$	32
4.4.1.2. Primera corrida a $2Co$	33
4.4.2. Segunda corrida	35
4.4.2.1. Segunda corrida a $1/4Co$	35
4.4.2.2. Segunda corrida a Co	36
4.4.3. Tercera corrida	38
4.4.3.1. Tercera corrida a $1/2Co$	38
4.4.3.2. Tercera corrida a $2Co$	39
4.5. Determinación de la velocidad de sedimentación	41
4.6. Potencia requerida en una centrifuga	42
4.7. Discusión general de resultados	43

Capítulo 5

V. Conclusiones y recomendaciones	44
Referencias	45
Glosario	47

ÍNDICE DE FIGURAS**Capítulo I**

Figura 1.1. Descarga de agua residual de la planta potabilizadora	3
---	---

Capítulo II

Figura 2.1. Entrada de la suspensión de alimentación inicial	6
Figura 2.2. Precipitación de los sólidos suspendidos en el líquido	6
Figura 2.3. Separación de dos fracciones líquidas	6
Figura 2.4. Presa de Cointzio	16
Figura 2.5. Diagrama de flujo de la planta potabilizadora de Morelia	20

Capítulo III

Figura 3.1. Parrilla con agitación magnética	21
Figura 3.2. Espectrofotómetro 6505 UV/Vis marca Jenway	21
Figura 3.3. Viscosímetro Ostwald	23
Figura 3.4. Estufa de secado	24
Figura 3.5. Peso de la muestra seca	24
Figura 3.6. Microcentrifuga miniSpin marca Eppendorf	26
Figura 3.7. Microcentrifuga miniSpin abierta	26

Capítulo IV

Figura 4.1. Tamaño de partícula contra frecuencia y frecuencia acumulada	30
Figura 4.2. Absorbancia contra longitud de onda a $\frac{1}{2}$ Co	33
Figura 4.3. Absorbancia contra longitud de onda a 2 Co	34

Figura 4.4. Absorbancia contra longitud de onda a $\frac{1}{4}$ Co	36
Figura 4.5. Absorbancia contra longitud de onda a Co	37
Figura 4.6. Absorbancia contra longitud de onda a $\frac{1}{2}$ Co	39
Figura 4.7. Absorbancia contra longitud de onda a 2 Co	40
Figura 4.8. Velocidad de sedimentación: Tiempo=0 min, altura=35.9 cm	41
Figura 4.9. Velocidad de sedimentación: Tiempo=23 min, altura=4.5 cm	41
Figura 4.10. Velocidad de sedimentación: Tiempo=1333 min, altura=4.5 cm	41
Figura 4.11. Curva de sedimentación simple altura contra tiempo	41
Figura 4.12. Centrifuga industrial marca Pennwalt Súper D-Canter	43

ÍNDICE DE TABLAS**Capítulo II**

Tabla 2.1. Límites permisibles de características químicas	9
--	---

Capítulo III

Tabla 3.1. Diseño factorial para la corrida No. 1	26
Tabla 3.2. Diseño factorial desglosado de la corrida No. 1	27
Tabla 3.3. Diseño factorial para la corrida No. 2	27
Tabla 3.4. Diseño factorial desglosado para la corrida No. 2	27
Tabla 3.5. Diseño factorial para la corrida No. 2	28
Tabla 3.6. Diseño factorial desglosado para la corrida No. 2	28

Capítulo IV

Tabla 4.1. Tabla de distribución de frecuencia contra área de partícula	29
Tabla 4.2. Valores de absorbancia promedio de la figura 4.2	32
Tabla 4.3. Valores de absorbancia promedio de la figura 4.3	34
Tabla 4.4. Valores de absorbancia promedio de la figura 4.4	35
Tabla 4.5. Valores de absorbancia promedio de la figura 4.5	37
Tabla 4.6. Valores de absorbancia promedio de la figura 4.6	38
Tabla 4.7. Valores de absorbancia promedio de la figura 4.7	40
Tabla 4.8. Velocidad de sedimentación tiempo contra altura	42

Capítulo 1

I.- INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento vital y determinante de la dinámica de las sociedades humanas y comunidades biológicas. La distribución que tiene en el globo terráqueo es de la siguiente forma: un 94% son océanos y mares, un 2% se encuentra en las capas de hielo y en los glaciares, 3.986% existe como agua subterránea y sólo el 0.014% se haya como agua disponible para consumo y utilización general (Cortés y col, 2000).

La disponibilidad de este recurso no es uniforme en todo el planeta, teniéndose países con un volumen promedio mayor a 10 mil m^3 / persona-año, países con una disponibilidad media con un rango que se encuentra entre 5 y 10 mil m^3 /persona-año, países con disponibilidad baja con una fluctuación entre 1 y 5 mil m^3 /persona-año y países con disponibilidad muy baja, cuya existencia del recurso es menor a mil m^3 /persona-año (INEGI, 1997).

De la misma forma que en el mundo, en nuestro país la distribución del recurso acuífero no es uniforme, teniéndose zonas con superávit en donde la disponibilidad es mayor que la demanda, donde es aproximadamente igual y zonas con déficit en donde es menor.

Esta proyección nos permite inferir que, en años posteriores y considerando solamente el crecimiento poblacional, si no se tiene un uso racional del recurso se puede llegar a niveles de déficit lo que generaría problemas sociales, de salud, alimenticios y económicos.

Actualmente el recurso acuífero se aplica en los siguientes usos: consumo humano, uso doméstico, comercial, agrícola, energético, industrial, entre otros; en los que se generan aguas residuales que van a los cuerpos receptores (ríos, lagos, lagunas y mares).

De acuerdo con el INEGI (1992) se generaron 115 m^3 /seg de aguas residuales municipales

(sólo al 15% se le dio tratamiento) y 82 m³/seg de riego agrícola. Aún cuando el volumen generado por las aguas residuales municipales es mucho mayor que el de las residuales industriales, estas últimas pueden presentar niveles y grados de contaminación mayores que las primeras, debido a la gran diversidad de los procesos productivos.

Algunos de los principales factores que no permiten el manejo eficiente del agua son:

- La extracción del agua de sus fuentes es mayor a la que se recupera de forma natural.
- Las tarifas cobradas por los organismos operadores no corresponden a los costos reales.
- Sólo 30 litros de cada 100 se remuneran económicamente al organismo operador.
- Se utilizan 63 millones de m³ para agua de riego aprovechando adecuadamente sólo el 40%, el resto se pierde por diversos factores.
- La industria requiere 190m³/seg de agua y genera 6 millones de toneladas de DBO₅ (demanda Bioquímica de Oxígeno) (CONAGUA)
- Los adeudos de los organismos operadores que ascienden a 11 mil millones de pesos por uso de agua nacional y a 50 mil millones de pesos por descargas.
- La falta de conciencia en el uso del agua correctamente por parte de la población, que incluso es una de las faltas más graves que no permiten el buen manejo de este vital líquido.

1.1. Definición del problema.

La planta potabilizadora de la ciudad de Morelia se abastece del agua proveniente de la presa de Cointzio; después del proceso de potabilización se genera un residuo en los tanques sedimentadores que se compone por una masa de lodos y un clarificado (agua con arcilla suspendida y agentes coagulantes), dicha planta descarga cada ocho horas la corriente de purga de agua residual, misma que desemboca en un canal que después llega al río chiquito de Morelia, provocando así su contaminación (figura 1.1).



Figura 1.1. Descarga de agua residual de la planta potabilizadora

Los sólidos suspendidos en dicha corriente, además de generar el asolvamiento del río y disminuir su velocidad de captación (o de arrastre), provocan la disminución de la solubilidad del oxígeno en el agua, la obstrucción de la luz solar y incremento en la pigmentación del río; por lo que se observa que uno de los problemas de contaminación es el gran contenido de sólidos.

Capítulo 2

II GENERALIDADES

2.1. Justificación.

La planta potabilizadora de la ciudad de Morelia, Michoacán, descarga cada ocho horas una corriente de purga de agua residual de 31.5 L/s aproximadamente, que contiene arcilla suspendida y agentes coagulantes, características que además de generar el asolvamiento del río y disminuir su velocidad de captación (o de arrastre), provocan la disminución de la solubilidad del oxígeno en el agua, la obstrucción de la luz solar y incremento en la pigmentación del río y que como consecuencia disminuyen la capacidad de tratamiento y autopurificación del cuerpo receptor, debido a la modificación de sus condiciones y/o propiedades naturales, por lo tanto el trabajo queda plenamente justificado ya que al retirar el material arcilloso de la corriente de purga, representaría una recuperación del 5 % del agua tratada.

2.2. Hipótesis.

El proceso de centrifugación es un método de separación de una mezcla sólido-líquido que puede ser técnicamente factible utilizado para separar la fase sólida del agua residual.

2.3. Objetivo general

Dar tratamiento al agua residual proveniente de la planta potabilizadora.

2.3.1. Objetivos particulares

- Retirar los sólidos suspendidos de la corriente residual.
- Evaluar el proceso de centrifugación para la separación de sólidos.
- Recuperar el agua proveniente de la corriente residual

2.4. Procesos de separación por centrifugación.

El uso de centrífugas aumenta en alto grado las fuerzas (gravitatoria y centrifugas) que actúan sobre las partículas. Por tanto, las que no se precipitan, o lo hacen con mucha lentitud en precipitadores por gravedad, casi siempre se pueden separar de los fluidos por medio de fuerzas centrífugas.

Algunas veces, la separación por gravedad es demasiado lenta debido a la similitud de densidades de la partícula y el fluido o las fuerzas de asociación que mantienen unidos a los componentes, como en el caso de las emulsiones. Un ejemplo en la industria láctea es la separación de crema de la leche para obtenerla descremada. La separación por gravedad requiere muchas horas, mientras que por centrifugación en un separador de crema, se logran los mismos resultados en pocos minutos. La separación por centrifugación se usa en muchas industrias alimenticias, tales como: cervecería, concentración de proteínas de pescado, procesamiento de aceites vegetales, de jugos de frutas para eliminar materiales celulares, etc. También se emplea para secar cristales y separar constituyentes líquidos o sólidos de las emulsiones.

2.4.1. Fuerzas que se desarrollan en la separación por centrifugación.

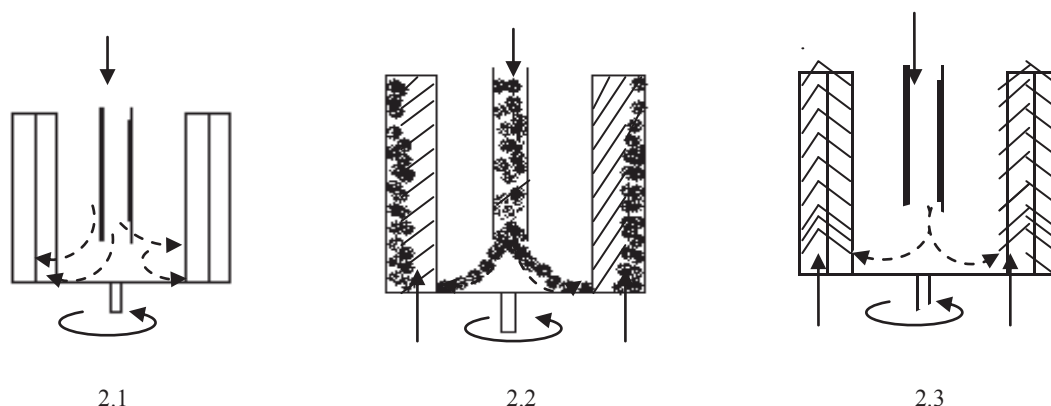
Los separadores centrífugos se basan en el principio común de que la rotación de un objeto en torno a un mismo eje, punto central a una distancia radial constante desde dicho punto, produce una fuerza que actúa sobre el objeto. El objeto que gira en torno al eje cambia de dirección constantemente, con lo cual se produce una aceleración aún cuando la velocidad rotacional sea constante.

Si el objeto que se hace girar es un recipiente cilíndrico, el contenido del fluidos y sólidos desarrollan una fuerza igual y opuesta hacia las paredes del recipiente llamada *fuerza centrífuga* que causa la sedimentación de las partículas a través de una capa de líquido, o la filtración a través de una torta de filtrado en el interior de una cámara de rotación perforada.

En la figura 2.1. Se muestra un recipiente cilíndrico giratorio donde la alimentación de la

suspensión de partículas sólidas de un fluido penetra por el centro. Al entrar, la alimentación es arrastrada de inmediato hacia las paredes del tazón, como se ilustra en la figura 2.2. La fuerza gravitatoria vertical y la fuerza centrífuga horizontal actúan sobre el líquido y los sólidos. La fuerza centrífuga suele ser tan grande, que es posible despreciar la fuerza de gravedad. Entonces, la capa líquida asume una posición de equilibrio con su superficie casi vertical. Las partículas se precipitan horizontalmente hacia fuera, presionándose sobre la pared vertical del tazón.

En la figura 2.3. Se muestra la separación de dos líquidos con densidades diferentes en una centrífuga. El fluido más denso ocupará la periferia debido a que la fuerza centrífuga es mayor sobre él.



Figuras 2.1, 2.2, 2.3. Diagrama de una separación por centrifugación: 2.1. Entrada de la suspensión de alimentación inicial, 2.2. Precipitación de los sólidos suspendidos en el líquido, 2.3. Separación de dos fracciones líquidas.

2.4.2. Ecuaciones para la fuerza centrífuga.

La aceleración de la fuerza centrífuga en movimiento circular es:

$$a_{\ell} = r\omega^2 \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde a_{ℓ} es la aceleración causada por la fuerza centrífuga en m/s^2 ; r es la distancia radial al centro de rotación en m y ω es la velocidad angular en rad/s .

La fuerza centrífuga F_c en (Newton) que actúa sobre la partícula está dada por:

$$F_c = ma_\ell = mr\omega^2 \quad \text{Ec. (2.2)}$$

Puesto que $\omega = v/r$, donde v es la velocidad tangencial de la partícula en m/s

$$F_c = mr\left(\frac{v}{r}\right)^2 = \frac{mv^2}{r} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Las velocidades de rotación también se expresan como N (rev/min) y

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

$$N = \frac{60v}{2\pi r} \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Sustituyendo la ecuación (2.4) en la (2.2)

$$F_c(\text{newton}) = mr\left(\frac{2\pi N}{60}\right)^2 = 0.01097mrN^2 \quad \text{Ec. (2.6)}$$

La ecuación (2.1-2) indica que la fuerza de gravedad sobre una partícula es:

$$F_g = mg \quad \text{Ec. (2.1-2)}$$

Donde g es la aceleración de la gravedad, 9.80665 m/s^2 . Al combinar las ecuaciones (2.1-2), (2.2) y (2.3) se obtiene la expresión de la fuerza centrífuga en términos de la fuerza de gravedad:

$$\frac{F_c}{F_g} = \frac{r\omega^2}{g} = \frac{v^2}{rg} = \frac{r}{g} = \left(\frac{2\pi N}{60}\right)^2 = 0.001118rN^2 \quad \text{Ec. (2.7)}$$

Por consiguiente, la fuerza que se desarrolla en una centrífuga es $r\omega^2 / gc^2 / rg$ veces mayor que la fuerza de gravedad. Con frecuencia, esto se expresa como un múltiplo de la fuerza g .

2.5. Contaminantes químicos en el agua que afectan al ser humano

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo que en la NOM-SSA1-1994 “salud ambiental” establecen límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas.

Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización.

El agua para ser potable debe cumplir una serie de requisitos de calidad física, química y biológica. Los requisitos de calidad química implican que el agua potable no debe contener los siguientes elementos o compuestos en concentraciones totales mayores que las indicadas en la tabla 2.1.

TABLA 2.1. Límites permisibles de características químicas.

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN ⁻)	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como Cl ⁻)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F ⁻)	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/l: Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxiclolo	20.00
2,4 – D	50.00
Plomo	0.025
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO ₄ =)	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

Fuente: Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, “Salud ambiental”.

Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

2.6. Proceso de tratamiento de potabilización del agua.

El tratamiento del agua para transformarla en apta para el consumo, consiste en el proceso de naturaleza físico-química y biológica a través del cual se eliminan sustancias y microorganismos que implican un riesgo o cualidad organoléptica no deseable para la salud de quien la consume.

Considerando un agua superficial (de río, embalse o subterránea) con algunos problemas de calidad, el proceso o línea de tratamiento, considerado convencional, consta de una serie de etapas en función del tratamiento de la misma, como las que a continuación se enlistan:

- Coagulación
- Floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección

2.6.1. Coagulación.

La coagulación es un proceso utilizado, generalmente, en todas las plantas de tratamiento de agua (potabilizadoras) para eliminar turbiedad y color presentes en ella debido a que posee partículas en suspensión y/o solución, como por ejemplo: arcillas, minerales, materias orgánicas, microorganismos, etc.

A su vez, estas partículas son muy pequeñas y no pueden separarse del agua por simple sedimentación, cuyo proceso consiste en la desestabilización de las mismas, es decir, la remoción de las fuerzas que las tiene separadas. (Arboleda, 2000).

Según el Departamento de Sanidad del estado de Nueva York, la coagulación hace referencia a la formación de flóculos precipitados o incipientes mediante los cambios físico-químicos que tienen lugar entre el coagulante soluble y la alcalinidad del agua. Según Weber (1979), el proceso de coagulación se aplica al de agregación de partículas incluyendo su desestabilización y el transporte, mientras que utiliza el término floculación sólo para describir la etapa de transporte de las partículas agregadas.

La floculación es estimulada por un mezclado bastante intenso que los rompe y, raramente, se vuelve a formar en su tamaño y fuerza óptima.

Los procesos de coagulación y floculación se emplean para extraer del agua los sólidos que en ella se encuentran suspendidos, siempre que su rapidez natural de asentamiento sea demasiado baja para proporcionar clarificación efectiva. (Kemmer 1989).

Dicho proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Eliminación de carbono orgánico (COT).

2.6.1.1. Objetivo de la coagulación.

Las aguas superficiales que normalmente se encuentran en la naturaleza contienen proporciones variables de sólidos suspendidos relativamente gruesos, sólidos más finos que aparecen como turbidez y color, y algunos otros materiales coloidales. La coagulación en el tratamiento del agua reducirá las concentraciones de estos materiales a límites que puedan ser tolerados.

Cuando el agua se emplea para generar vapor, la coagulación se utiliza, normalmente, para remover sólidos suspendidos y turbidez (impurezas más comúnmente presentes) con el objeto de

hacerla más adecuada para alimentación de calderas y usos misceláneos. (American society for testing, 1992).

2.6.1.2. Factores que afectan el proceso de coagulación.

Según Arboleda (2000), en las investigaciones de Amirthrajah (1987) los factores que afectan el proceso de coagulación son: dosis del coagulante, pH, concentración de coloides o turbiedad, color o concentración de sustancias orgánicas en el agua, aniones o cationes presentes en la misma, intensidad del mezclado rápida y gradiente de velocidad de la mezcla lenta, movilidad electroforética de las partículas y la temperatura del líquido vital.

2.6.1.3. Efecto del pH sobre la coagulación.

La cantidad de coagulante requerida para efectuar una buena coagulación varía con la naturaleza y cantidades de sólidos suspendidos y contenidos en el agua.

Generalmente, las aguas blandas de bajo contenido mineral se coagulan mejor dentro de un ámbito restringido a pH de 5.8 - 6.9, mientras que las más duras se coagulan fácilmente a pH de 6.8 - 7.8.

2.6.1.4. Coagulantes más usados y conocidos.

Los coagulantes son los reactivos químicos que se encargan de desestabilizar las partículas coloidales para formar un precipitado. Algunos coagulantes mas usados se enlistan a continuación.

2.6.1.4.1. Sales de aluminio y fierro.

Las sales de aluminio forman un floculo ligeramente pesado. Las más conocidas de estas son el sulfato de aluminio, el sulfato de aluminio amoniacal y el cloruro de polialuminio. El primero es

el coagulante que por su bajo costo y su manejo relativamente sencillo se usa con mayor frecuencia en las plantas de tratamiento de aguas potables. (Arboleda, 2000).

Para aguas de turbidez baja, en ocasiones es necesario agregar más partículas para aumentar la concentración de coloides y facilitar la coagulación.

Las arcillas (como la bentonita y el caolín) y algunas formas de sílice activada pueden servir como ayuda de coagulante; un proceso que puede generar un floculo más compacto con una mayor velocidad de sedimentación y dosis necesaria de coagulante mayor.

2.6.2. Floculación.

Es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores. (Arboleda, 2000). Según el Departamento de Sanidad del estado de Nueva York, la floculación consiste en agitar suavemente el agua tratada durante un periodo de tiempo apreciable para complementar las reacciones de coagulación, hasta alcanzar condiciones que permitan que el material flocúleno se junte y adhiera formando grandes masas de flóculos.

2.6.2.1. Proceso de coagulación-floculación.

Su realización en las plantas potabilizadoras se lleva a cabo en tres pasos separados:

- Adición de coagulantes
- Dispersión de los coagulantes
- Aglutinación o aglomeración de partículas

2.6.2.2. Adición de los coagulantes.

La adición de sales coagulantes como sulfato de aluminio, sulfato férrico o cloruro férrico produce cationes poliméricos tales como $[Al_3O_4(OH)_{24}]^{7+}$ y $[Fe_3(OH)_4]^{5+}$ cuyas cargas positivas neutralizan las negativas de los coloides, permitiendo de esta manera que las partículas se unan formando aglomerados pequeños denominados flóculos.

Los coagulantes metálicos AL (III) y Fe (III), siempre deben aplicarse disueltos en agua. El aplicarlos en suspensión o en polvo, sin que las partículas del compuesto hayan tenido tiempo de disolverse y disociarse, disminuye notablemente la efectividad del proceso, lo que se traduce en un desperdicio de dichas sustancias químicas.

2.6.2.3. *Dispersión de los coagulantes (mezcla rápida).*

Una de las conclusiones que se desprenden de las investigaciones es la importancia que tiene la dispersión de los coagulantes en el agua para todo el proceso de clarificación posterior. La dispersión de los coagulantes puede considerarse progresiva en tres fases distintas: conceptual, difusión de los compuestos formados y polimerización.

2.6.2.4. *Aglutinación de partículas (mezcla lenta).*

Una vez dispersados los coagulantes hay que producir una lenta agitación del agua para permitir el crecimiento del flóculos, que es inducido por el contacto entre partículas de diámetro mayor a una micra creada por el gradiente de velocidad de la masa líquida.

2.6.2.5. *Clasificación de los floculadores.*

Según el tipo de energía usada para producir la agitación, los floculadores pueden clasificarse en hidráulicos y mecánicos; los primeros según el sentido del flujo se clasifican en: flujo horizontal y vertical. Los mecánicos son generalmente rotatorios de paletas, tanto en el eje horizontal como del vertical.

2.6.3. *Sedimentación.*

Una vez floculada el agua, el problema radica en separar los sólidos del líquido, es decir, las partículas coaguladas del medio donde están suspendidas. Esto se puede conseguir dejando sedimentar el agua, filtrándola o ejecutando ambos procesos a la vez.

La sedimentación y filtración, por lo tanto, deben considerarse como procesos complementarios. La sedimentación realiza la separación de los sólidos más densos que el agua de una velocidad de caída tal que puede llegar al fondo del tanque sedimentador en el tiempo económicamente aceptable.

El proceso de sedimentación se realiza en decantadores o piletas de capacidad variable, según la planta potabilizadora, en ellos se produce la decantación del floculo que precipitan al fondo del decantador formando barro.

Los decantadores o sedimentadores, en su tramo final, poseen vertederos en los que se capta la capa superior del agua (que contiene menor turbiedad) y por medio de éstos se pasa a la zona de filtración.

2.6.4. Proceso de separación de Filtración.

Proceso en el que las partículas sólidas que se encuentran en un fluido líquido o gaseoso se separan mediante un filtro que permite el paso del fluido, pero retiene las partículas sólidas. Algunas veces lo que interesa es el fluido, en otras las partículas sólidas o ambas cosas.

El arte de la filtración era ya conocido por el hombre primitivo que obtenía agua clara de un manantial turbio, haciendo un agujero en la arena de la orilla a profundidad mayor que el nivel del agua. El agujero se llenaba de agua clara filtrada por la arena.

El mismo procedimiento, perfeccionado y a gran escala, ha sido usado durante más de cien años para clarificar el agua de las ciudades.

La filtración se realiza ingresando el agua sedimentada o decantada por encima del filtro, compuesto por un manto sostén: piedras, granza y arena. Por gravedad el agua pasa a través de la arena, que retiene las impurezas o turbiedad residual que queda en la etapa de decantación.

2.7. Proceso de tratamiento de agua que se lleva a cabo actualmente en la planta potabilizadora de la ciudad de Morelia.

2.7.1. Agua de la presa de Cointzio.

La presa de Cointzio (figura 2.6.), construida en el distrito de riego de Morelia y Queréndaro, Michoacán, por la Comisión Nacional de Irrigación, está situada a 13 kilómetros aguas arriba de la ciudad sobre el Río Grande de Morelia. Su capacidad total es de 69.9 millones de m^3 y la de desazolves de 15.63 millones de m^3 ; el súper almacenamiento de 16.6 millones de m^3 y el área de embalse de 500 Ha. La extracción media anual de agua en condiciones normales es de 58 millones de m^3 .

Las dimensiones de la presa son: altura total 46 metros, sobre el lecho del río 37 metros, longitud en la corona 300 metros, anchura en la corona 8 metros, en la base 200 metros. Taludes: aguas arriba, 3:1. Aguas abajo 2:1. Elevaciones: del desplante de la cimentación 1951 metros, del fondo del cauce 1960 metros, de la corona de la cortina 1997 metros.



Latitude. 19.6166667°

Longitude. -101.2666667°

Figura 2.4. Presa de Cointzio.

De la obra de toma de la presa de Cointzio, se conduce el agua a la loma de Santa María, situada en la parte Sur de la ciudad de Morelia, donde se construyó la planta potabilizadora.

2.7.2. Descripción del procedimiento.

El proceso en la planta potabilizadora de la ciudad de Morelia se lleva a cabo en las siguientes etapas: Coagulación, Floculación, Sedimentación, Desinfección, Filtración, Almacenamiento y distribución.

El agua llega a la planta potabilizadora proveniente de la presa de Cointzio a través de un canal de concreto con una longitud de 13.76 km. Se tiene instalada una válvula de compuerta tipo millar de 16 pulgadas de diámetro, para regular el gasto; el excedente es descargado al drenaje municipal. Existe un registro donde está colocada una rejilla de acero al carbón, con el objeto de retener los sólidos de mayor tamaño. Adelante del mismo se encuentra la caja de transición donde el canal se interconecta a una tubería de hierro colado de 24 pulgadas de diámetro y en el que el fluido sufre un cambio de dirección de 90° .

De esta tubería general, de 24 pulgadas, se tienen las respectivas derivaciones que alimentan a cada uno de los cuatro tanques clarifloculadores de aguas claras, que conduce las mismas hacia los filtros. Posteriormente, el agua pasa a los tanques de almacenamiento y de ahí se distribuye a la ciudad.

2.7.3. Proceso de potabilización.

El agua de la presa de Cointzio se ha venido tratando tradicionalmente con las siguientes sustancias químicas: Sulfato de aluminio, Sílice activada, Cal química y Cloro. El Sulfato de aluminio, comúnmente llamado alumbre, es el coagulante primario y el producto utilizado para la desestabilización de las partículas coloidales que se consigue, especialmente, por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas, generalmente negativas, formando un precipitado.

El tiempo de coagulación es extraordinariamente breve y la utilización óptima del coagulante exige que la neutralización de los coloides sea total antes de que una parte de

éste haya comenzado a precipitar. La turbulencia que se tiene en la caja de mezcla de los tanques es suficiente para asegurar una buena dispersión del coagulante en el agua.

A su vez, el coagulante introducido da lugar a la formación del floculo, pero es necesario aumentar su volumen, peso y, sobre todo, su cohesión, donde se usan ciertos productos llamados también “ayudantes de coagulación”, mismos que son destinados a favorecer cada una de estas operaciones. La acción se ejerce al nivel de la velocidad de reacción (floculación más rápida) o al nivel de la calidad del floculo (más pesado, voluminoso y coherente).

La Sílice activada fue el primer floculante que se empleó y sigue siendo en la actualidad el que mejores resultados suele dar, principalmente si se utiliza en conjunto con Sulfato de aluminio.

Por tal razón, en la planta se introduce el coagulante y la Sílice activada, en un punto común en la entrada del agua a la planta, lo que le da al floculo más peso, cohesión y, en consecuencia, ayuda a eliminar color.

El agua, después de pasar por la caja de mezcla rápida, llega a la cámara de floculación donde recibe una agitación mecánica lenta (rotatorio) para favorecer el crecimiento del floculo, de aquí el agua pasa al sedimentador de flujo semivertical como una corriente descendente comunicándole al floculo la dirección adecuada, con el objeto de que se deposite en el fondo. El agua clarificada asciende de manera vertical y es recogida a través de una serie de canaletas rectangulares instaladas en la superficie del tanque.

Los lodos sedimentados en el tanque son purgados de manera hidráulica a través de una serie de válvulas que se encuentran instaladas en el fondo de los mismos. Actualmente estos lodos no reciben ningún tratamiento de acondicionamiento y son enviados al drenaje municipal, descarga que se realiza tres veces por día cada ocho horas. El agua clarificada que produce cada uno de los tanques es vertida en un canal general afluente hacia los filtros.

Debido a que el Sulfato de aluminio reacciona con la alcalinidad del agua, se tiene un descenso en el pH, por lo que es necesario agregar Cal química para ajustarlo y llevarlo al punto neutro ($\text{pH} = 7$). Es precisamente antes de entrar a los filtros donde se agrega la cal y se aplica el desinfectante como cloro gas en solución; su principal función es la de ser un bactericida.

La función de la filtración es separar los sólidos suspendidos, micro flóculos y coloides, incluso presentes en el agua al pasarlos por un medio poroso, que no fueron eliminados en el proceso de sedimentación por diversos factores.

Los filtros reciben el agua por la parte superior del lecho filtrante donde las partículas son retenidas para obtener un flujo descendente a través del material graduado.

La retención paulatina de las partículas van ocupando los espacios libres al paso del agua, hasta su colmatación. Cuando ocurre este fenómeno es necesario cerrar el filtro y lavarlo.

Se encuentra en un tanque de capacidad de 400m^3 , ubicado en la parte alta de la planta, se invierte la dirección del flujo del agua en el filtro y ahora el agua asciende en forma vertical, retirando las impurezas del lecho y vertiéndolas en unas canaletas instaladas en cada filtro para posteriormente enviarlas al drenaje. Se usan en promedio 180m^3 de agua limpia en cada operación de lavado.

Por último, las aguas claras filtradas que salen de cada unidad recorren la galería hasta llegar a los tanques de regularización, donde, por gravedad, se distribuye a la ciudad. En este proceso se tiene un pequeño carcamito donde se aplica energía de bombeo para hacer llegar agua potable a la parte alta de la ciudad.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo de la planta potabilizadora de la ciudad de Morelia.

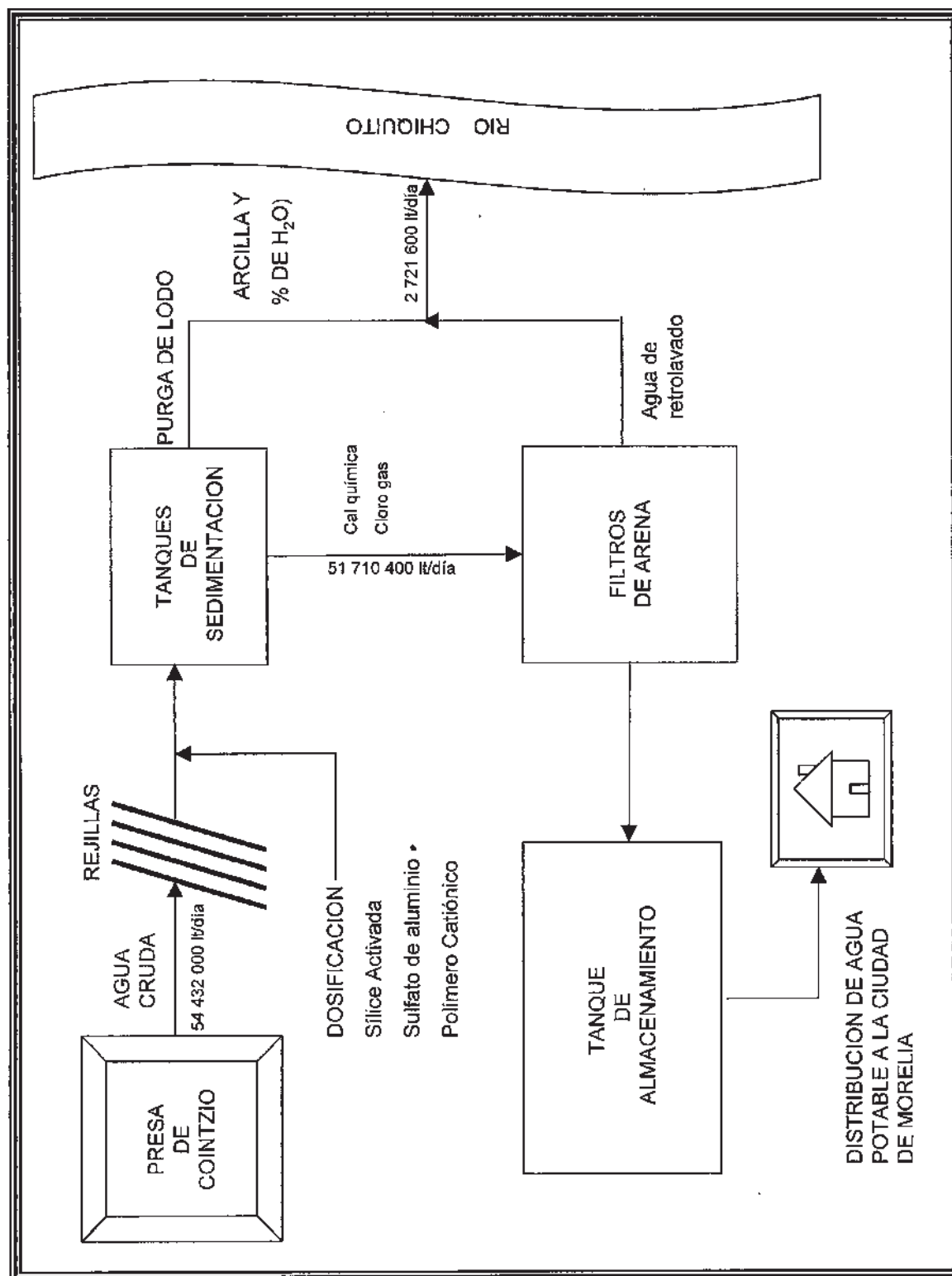


Figura 2.5. Diagrama de flujo de la planta potabilizadora de Morelia.

Capítulo 3

III.- TRABAJOS REALIZADOS (METODOLOGÍA)

En la separación de los sólidos del líquido en la corriente de purga de la planta potabilizadora de Morelia, se aplicó la siguiente metodología:

- Muestreo de la corriente de purga.
- Homogenización de la muestra por medio de una parrilla con agitador magnético (figura 3.1), previo a la caracterización y a los tratamientos de separación de sólidos.
- Determinación del tamaño de partícula de los materiales sólidos suspendidos.
- Determinación de la densidad y de la viscosidad de la corriente de purga.
- Determinación de la concentración de sólidos.
- Determinación de la velocidad de sedimentación
- Toma del volumen que se va a colocar en la centrifuga.
- Fijación de la velocidad de la centrifuga.
- Fijación del tiempo de centrifugación.
- Extracción de la muestra de la centrifuga para evaluar el nivel de separación a través de técnicas espectrofotométricas (figura 3.2).



Figura 3.1. Parrilla con agitación magnética



Figura 3.2. Espectrofotómetro 6505 UV/Vis.
Marca JENWAY

3.1. Determinación del tamaño de partícula de la corriente de purga de la planta potabilizadora.

Para la realización de ésta medición, a una muestra de 30 ml de la corriente residual, se le adicionaron 10 ml de agua destilada con el fin de diluir la suspensión. Posterior a la dilución, la muestra fue colocada en un equipo ultrasónico marca HORIBA durante 10 minutos con el fin de dispersar las partículas. Después del proceso de dispersión, la medición del tamaño de partículas se realizó en un Analizador de Partículas Automático Centrífugo marca HORIBA Capa 300.

3.2. Determinación de la densidad y la viscosidad de la corriente de purga de la planta potabilizadora.

3.2.1. Densidad

Para lograr la densidad obtenida se utilizó el método del picnómetro, a través del cual se colocaron 25 ml de muestra y se determinó el peso de su contenido para, posteriormente, obtener el valor correspondiente de la densidad, mediante la ecuación 3.1.

$$\rho = m/V \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

ρ = densidad (g/cm³)

m = masa de los sólidos secos (g)

V = Volumen de la suspensión (cm³)

3.2.2. Viscosidad:

La viscosidad se determinó utilizando el viscosímetro de Ostwald (figura 3.3). La medición se realiza alimentando el líquido a través del punto A hasta llenar la ampolla L; una vez lleno éste compartimiento, por el tubo B se aspira hasta que el nivel del fluido sobrepasa la ampolla superior (procurando que no queden burbujas de aire). Enseguida, se deja caer el agua evaluando

el tiempo que tarda en pasar entre los niveles M_1 y M_2 ; con el fin de tener certidumbre en la medición, el proceso anterior se realiza al menos tres veces.



Figura 3.3. viscosímetro de Ostwald

El valor de la viscosidad dinámica se calcula a través de la ecuación 3.2, utilizando el tiempo promedio de los tiempos previamente evaluados.

$$\mu = A \rho t' \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

μ = viscosidad (gr/cm*seg)

A = Constante para un tubo determinado ($\text{cm}^2 / \text{seg}^2$)

t' = tiempo promedio

Para obtener el valor de la constante (A), característico de cada equipo, se utiliza una sustancia (agua) de viscosidad y densidad conocidas y se determinan diferentes tiempos de recorrido en la zona capilar del viscosímetro; una vez obtenidos estos tiempos, se sustituyen los valores sobre la ecuación 3.2 y se evalúa el correspondiente valor de (A) por medio de la ecuación 3.3.

$$A = \mu / \rho t' \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Cada vez que se utiliza el viscosímetro, éste debe ser lavado y secado.

3.3. Determinación de Concentración total de sólidos en la corriente de purga de la planta potabilizadora.

La concentración de sólidos en la corriente de purga de la planta potabilizadora, se realizó de acuerdo con los siguientes pasos:

Se tomo el peso de una capsula de porcelana vacía, limpia y seca; posteriormente se le adiciono a la capsula 100 ml de la suspensión de agua residual; la capsula con la muestra, se introdujo a una estufa de secado marca MAPSA modelo EC-455 en donde se eliminó totalmente el agua a temperatura 105° C (figura 3.4); después del proceso de secado y enfriamiento, se pesó la capsula con la muestra de arcilla seca en una balanza analítica marca Denver Instrument (figura 3.5).



Figura 3.4. Estufa de secado



Figura 3.5. Peso de la muestra seca

- La concentración de sólidos en mg L^{-1} se obtiene por medio de la ecuación 3.4.

$$C_o = \frac{P_A - P_C}{V}$$

Ecuación 3.4

Donde:

V = Volumen inicial de muestra (ml).

P_C = Peso de la capsula limpia y seca (g).

P_A = Peso de la capsula con arcilla seca (g).

C_o = Concentración de la muestra (g/L).

3.4. Determinación de la velocidad de sedimentación

Para determinar ésta velocidad se utiliza el método para sedimentación desarrollado por Talmadge y Fitch que es el apropiado para cuando se tienen suspensiones con alta concentración de sólidos. En una probeta de 1000 ml se colocó la suspensión con una concentración **Co** perfectamente agitada y se evaluó la altura **H₀**; posteriormente se tomaron lecturas de altura de la capa de sólidos contra tiempo, conforme fue sedimentando la muestra.

Una vez que se tienen las lecturas de tiempo contra altura se realiza el procedimiento gráfico mostrado en las siguientes imágenes hasta obtener el valor del tiempo último (**t_u**), con el cual posteriormente se determinó el área necesaria para que se realice la sedimentación de los sólidos de acuerdo con la ecuación 3.5.

$$Q = \frac{A * H_0}{t_u} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

Q = Caudal que entra al tanque, m³/seg.

A = Superficie del tanque sedimentador, m².

H₀ = Altura inicial de la interfase en la probeta, m.

t_u = Tiempo necesario para alcanzar la concentración de fangos deseada en el fondo de la probeta

3.5. Pruebas de Centrifugación (3 corridas)

Las corridas experimentales de este proceso se llevaron a cabo mediante un diseño de experimentos que considera la concentración inicial de sólidos (Co), velocidad (v) y tiempo (t) de centrifugación.

Dado que la concentración de sólidos presentes en las aguas residuales varía a lo largo de su descarga sobre el río chiquito y la dependencia del grado de remoción de los sólidos en función de la velocidad y el tiempo de centrifugación, se generó el diseño experimental factorial L8 para la variación de diferentes niveles de concentración de sólidos, velocidades y tiempos de centrifugación.

3.5.1. Primera corrida.

En la tabla 3.1. Se muestra la corrida 1, en la que se establece que para el nivel 1 (nivel bajo) se fijaron los parámetros de concentración, velocidad y tiempo, en $Co/2$, 1000 rpm y 2 minutos respectivamente en una microcentrifuga minispin marca Eppendorf (figuras 3.6 y 3.7) mientras que para el nivel 2 (nivel alto), los mismos parámetros lo hicieron en $2Co$, 12500 rpm y 15 minutos.



Figura 3.6. Microcentrifuga minispin marca Eppendorf.



Figura 3.7. Microcentrifuga minispin abierta.

Tabla 3.1. Diseño Factorial para la corrida No. 1

Factores	Nivel 1	Nivel 2
1. Concentración, Co (mg/L)	$Co/2$	$2Co$
2. Velocidad, v (rpm)	1000	12500
3. Tiempo, t (min.)	2	15

En la tabla 3.2. Se muestra el diseño experimental desglosado prueba por prueba de la primera corrida de acuerdo al factorial L8.

Tabla 3.2. Diseño Factorial desglosado de la corrida No. 1.

No. de prueba	Factor 1	Factor 2	Factor
1	Co/2	1000	2
2	Co/2	1000	15
3	Co/2	12500	2
4	Co/2	12500	15
5	2Co	1000	2
6	2Co	1000	15
7	2Co	12500	2
8	2Co	12500	15

3.5.2. Segunda corrida.

En la tabla 3.3. Se muestra la corrida 2 donde se establece el nivel 1 a un cuarto de la concentración inicial, esto con la finalidad de revisar el comportamiento de la centrífuga a bajas concentraciones de sólidos con un tiempo de un minuto y 2500 rpm; mientras que para el nivel 2 los mismos parámetros de concentración, velocidad y tiempo se fijaron en Co, 7500rpm y 10 minutos respectivamente.

Tabla 3.3. Diseño Factorial para la corrida No. 2.

Factores	Nivel 1	Nivel 2
1. Concentración Co (mg/L)	Co/4	Co
2. Velocidad (rpm)	2500	7500
3. Tiempo (min.)	1	10

En la tabla 3.4. Se muestra el diseño experimental desglosado prueba por prueba de la segunda corrida de acuerdo al factorial L8.

Tabla 3.4. Diseño Factorial desglosado de la corrida No. 2.

No. de Prueba	Factor 1	Factor 2	Factor 3
1	Co/4	2500	1
2	Co/4	2500	10
3	Co/4	7500	1
4	Co/4	7500	10
5	Co	2500	1
6	Co	2500	10
7	Co	7500	1
8	Co	7500	10

3.5.3. Tercera corrida.

En la tabla 3.5. El nivel 1 permaneció igual que en la corrida 1 pero en el nivel 2 sólo cambió la velocidad a 13400rpm, esto para determinar que tanto cambia la separación con un pequeño aumento de velocidad.

Tabla 3.5. Diseño Factorial para la corrida No. 3.

Factores	Nivel 1	Nivel 2
1. Concentración Co (mg/L)	Co/2	2Co
2. Velocidad (rpm)	1000	13400
3. Tiempo (min.)	2	15

En la tabla 3.6. Se muestra el diseño experimental desglosado prueba por prueba de la tercera corrida de acuerdo al factorial L8.

Tabla 3.6. Diseño Factorial desglosado de la corrida No. 3.

No. de prueba	Factor 1	Factor 2	Factor
1	Co/2	1000	2
2	Co/2	1000	15
3	Co/2	13400	2
4	Co/2	13400	15
5	2Co	1000	2
6	2Co	1000	15
7	2Co	13400	2
8	2Co	13400	15

3.6. Calculo de la potencia requerida en una centrifuga

La potencia consumida por una centrifuga esta está representada por la ecuación 3.6

$$\text{Potencia} = \alpha * Q * (W * R)^2 \quad \text{Ecuacion 3.6}$$

Donde:

Q = caudal a tratar

W = velocidad angular

R = radio

α = Constante que depende del tipo de centrifuga.

Capítulo 4

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a la metodología establecida y a los trabajos realizados en el laboratorio, se obtuvieron los resultados que a continuación se muestran y discuten.

4.1 tamaño de partícula en la corriente de purga de la planta potabilizadora.

Los resultados que se reportan en la tabla 4.1 y figura 4.1, muestran que los tamaños máximos y mínimos de las partículas en suspensión se encuentran en el orden de 0.2-1.40 Micras respectivamente. La media de las partículas se encuentra en el orden de 0.44.

Tabla 4.1 tabla de distribución de frecuencia contra área de partícula

Tabla de Distribución		
Área	Frecuencia	
D[um]	F [%]	R[%]
1.40	0.00	100
1.20	0.10	100
1.00	6.40	99.9
0.80	15.20	93.5
0.60	36.10	78.3
0.40	31.50	42.2
0.20	10.70	10.7
0.00	0.00	0

$D[\text{median}] = 0.44$

$SD = 0.21$

$SW = 7.73$

En la figura 4.1 se aprecia que a una frecuencia del 80% el tamaño de las partículas esta en el rango de 0.60 micras o menos.

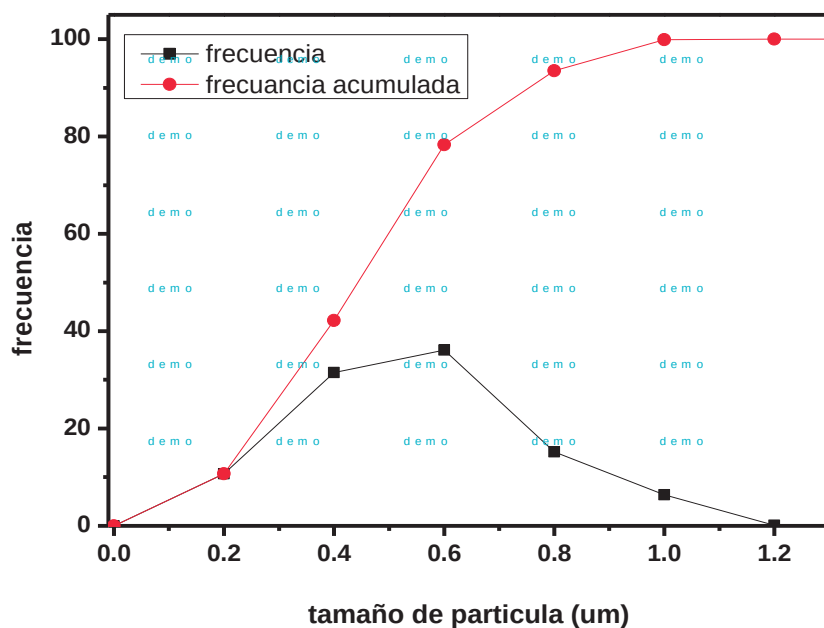


Figura 4.1. tamaño de partícula contra frecuencia y frecuencia acumulada

4.2. Determinación de la densidad y la viscosidad de la corriente de purga de la planta potabilizadora

4.2.1. Densidad:

Peso del picnómetro = 23.78 g.

Peso del picnómetro + líquido = 48.81g.

Volumen del líquido = 25 ml.

Utilizando la ecuación 3.1

$$\rho = m/V = (48.81 - 23.78) \text{ g.} / 25 \text{ ml} = \underline{\underline{1.0012 \text{ g/ml}}}$$

La densidad de la mezcla resulta ser de 1.0012 g / ml. Siendo este valor ligeramente mayor al valor de la densidad del agua (1.000 g / ml.) esto debido a los sólidos presentes en la suspensión.

4.2.2. Viscosidad:

De acuerdo con el método del viscosímetro de Ostwald para determinar el valor de A se determino el tiempo promedio utilizando agua;

$$t = 1.29 \text{ min}; 1.31 \text{ min}; 1.24 \text{ min};$$

$$t' = \underline{1.28 \text{ min}}$$

Sabiendo que para el agua: $\mu = 1 \text{ g/cm}^2\text{s}$ y $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$

Despejando A, de la ecuación 3.2 nos queda la siguiente expresión:

$$A = \mu/\rho t' = (1 \text{ g/cm}^2\text{s}) / (1 \text{ g/cm}^3) * (88 \text{ s}) = 0.01136364 \text{ cm}^2/\text{s}^2$$

Una vez que encuentra limpio el viscosímetro se realizan las mismas pruebas anteriores pero ahora con la suspensión en lugar que el agua y con los valores de A y ρ anteriormente conocidos.

$$t = 1.38 \text{ min}; 1.35 \text{ min}; 1.35 \text{ min}$$

$$t' = \underline{1.36 \text{ min}}$$

$$\mu = A \rho t' = (0.01136364 \text{ cm}^2/\text{s}^2)(1.0012 \text{ g/cm}^3)(96 \text{ s}) = \underline{1.092215 \text{ g/cm}^2\text{s}}$$

La viscosidad de la mezcla resulta ser de 1.092215 g/cm²s. Siendo este valor ligeramente mayor al valor de la viscosidad del agua (1.000 g / cm²s) esto debido a los sólidos presentes en la suspensión.

4.3 Determinación de Concentración total de sólidos en la corriente de purga de la planta potabilizadora.

Para obtener la concentración de sólidos se sustituye los valores en la ecuación 3.3

$$C_o = \frac{129.0909 - 128.4720}{100}$$

$$C_o = 0.6189 \frac{\text{g}}{\text{ml}} = 6.189 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

La concentración de sólidos resulta ser del orden de 6.189g por litro de suspensión.

4.4. Corridas experimentales de Centrifugación.

Nota: Para facilitar su apreciación y comprensión, fueron elaboradas dos gráficas para cada corrida, una para cada concentración, indicando en ellas sus diferentes parámetros y agregando una curva de agua, destilada y potable para su comparación.

4.4.1. Primera corrida

Para la primer corrida se realizan 2 graficas una a la mitad de la concentración inicial y la otra al doble.

4.4.1.1. Primera corrida a $Co/2$

Las pruebas para la figura 4.2. fueron realizadas a la mitad de la concentración inicial, equivalente a 3.0945g/l, se fija la velocidad en 1000 y 12500rpm con tiempos de 2 y 15 minutos, en la microcentrífuga marca MiniSpin. Posteriormente, las muestras se analizan en el espectrofotómetro 6505 UV/Vis marca JENWAY para medir la absorbancia, con lo que se grafica contra la longitud de onda y compara el nivel de separación de cada prueba en relación al agua destilada. El promedio de absorbancia de cada una de ellas se muestra a continuación en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Valores de absorbancia promedio de la figura 4.2.

Numero de prueba	Absorbancia máxima(UA)
Prueba # 1	0.2387182
Prueba # 2	0.1195586
Prueba # 3	0.08345885
Prueba # 4	0.05203491
Agua destilada	0.04278803
Agua potable	0.04197756

En la figura 4.2. se puede observar claramente que a baja velocidad de centrifugación el tiempo

es un parámetro importante debido a que se reduce el nivel de absorbancia en el rango del 50% de la prueba 1 a la 2 a una misma velocidad pero a diferente tiempo, mismo que a alta velocidad pierde importancia ya que se reduce el nivel de absorbancia en el rango del 66% de la prueba 1 a la 3 a un mismo tiempo y a diferente velocidad, de igual manera que en la 2 y la 4, esta última es la que más se acerca a la del agua destilada, dejando en claro que a baja concentración la velocidad de centrifugación es el parámetro más importante.

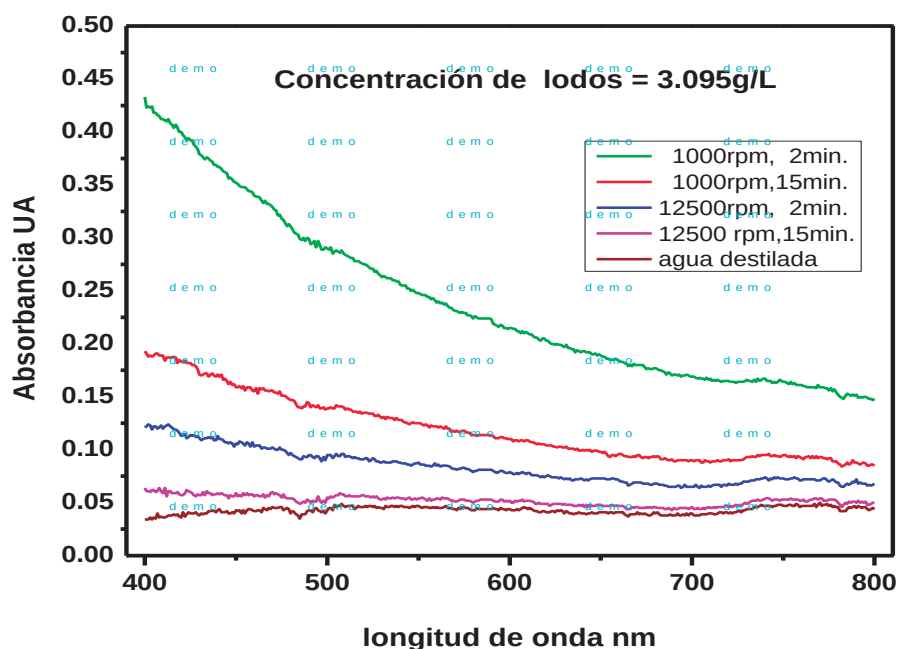


Figura 4.2. Absorbancia vs longitud de onda realizada a la mitad de la concentración inicial.

4.4.1.2. Primera corrida a 2Co

Las pruebas para figura 4.3. Fueron realizadas al doble de la concentración inicial, equivalente a 12.387g/l, se fija la velocidad en 1000 y 12500rpm, por tiempos de 2 y 15 minutos, en la microcentrífuga marca MiniSpin. Posteriormente, las muestras se analizan en el espectrofotómetro 6505 UV/Vis marca JENWAY para medir la absorbancia, con lo que se grafica contra la longitud de onda y compara el nivel de separación de cada prueba en relación al agua destilada. El promedio de absorbancia de cada una de ellas se muestra a continuación en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Valores de absorbancia promedio de la figura 4.3.

Numero de prueba	Absorbancia máxima(UA)
Prueba # 5	0.2340798
Prueba # 6	0.13586284
Prueba # 7	0.06418703
Prueba # 8	0.06201496
Agua destilada	0.04278803
Agua potable	0.04197756

En la figura 4.3. Se aprecia que a alta concentración y a baja velocidad de centrifugación el tiempo es un parámetro que cobra relevancia debido a que logra reducir el nivel de absorbancia en el rango del 43% de la prueba 5 a la 6 a una misma velocidad pero a diferente tiempo, mientras que a alta velocidad de centrifugación el tiempo pierde importancia ya que de la prueba 5 a la 7 el nivel de absorbancia se reduce en el rango del 73%, a un mismo tiempo pero a distinta velocidad.

En general, a altas concentraciones el parámetro más importante es la velocidad de centrifugación.

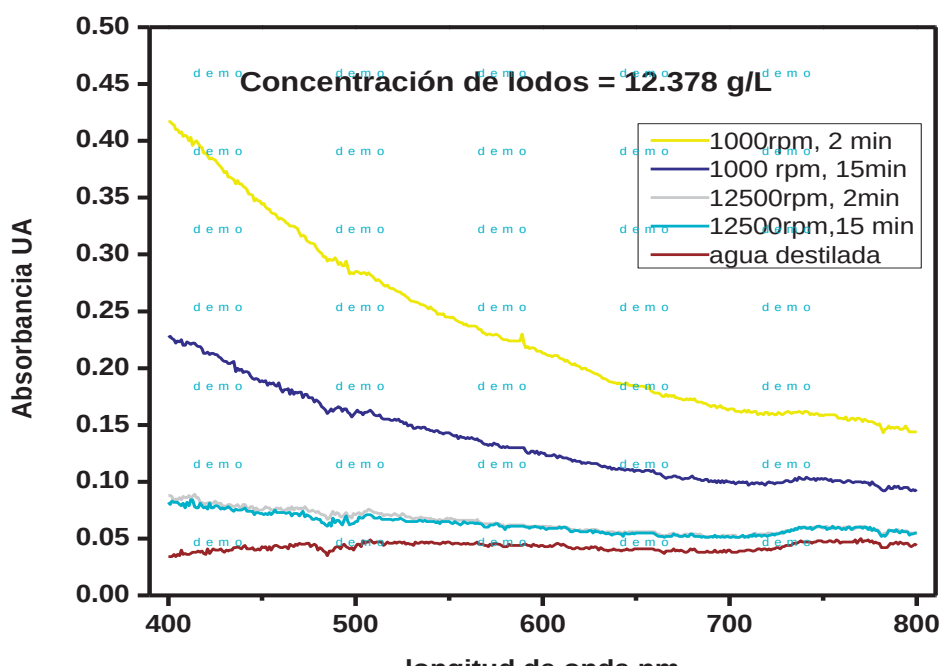


Figura 4.3. Absorbancia vs longitud de onda realizada al doble de la concentración inicial

4.4.2. Segunda corrida

Para la segunda corrida se realizan 2 graficas una a $1/4$ de la concentración inicial y la otra a la concentración inicial.

4.4.2.1. Segunda corrida a $1/4Co$

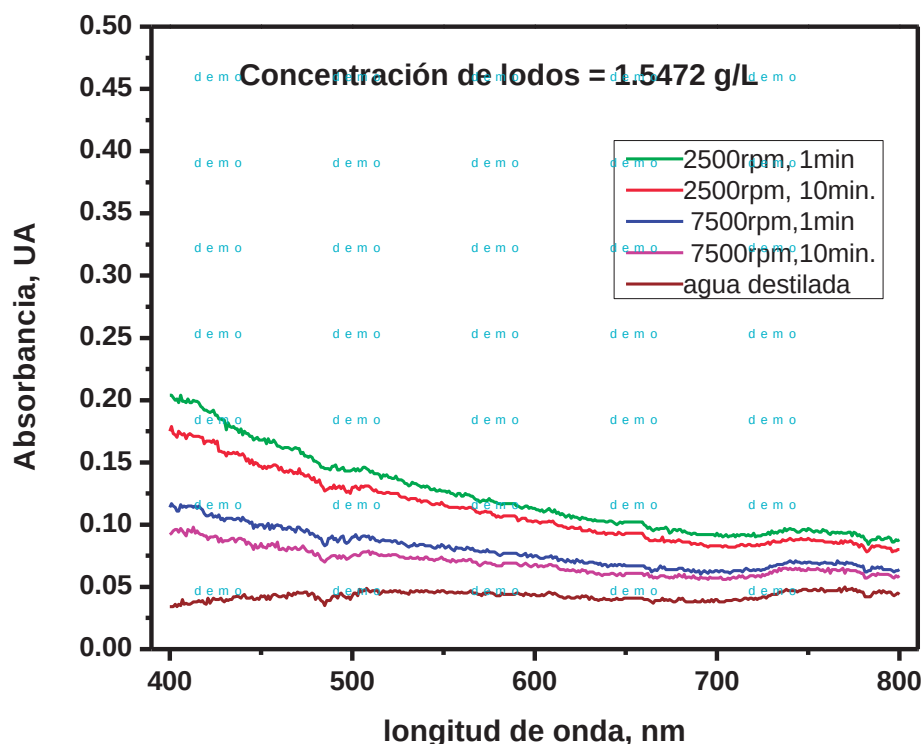
Las pruebas para la figura 4.4. fueron realizadas a $1/4$ de la concentración inicial, equivalente a 1.547g/l, se fija la velocidad en 2500 y 7500rpm con tiempos de 1 y 10 minutos, en la microcentrífuga marca MiniSpin. Posteriormente, las muestras se analizan en el espectrofotómetro 6505 UV/Vis marca JENWAY para medir la absorbancia, con lo que se grafica contra la longitud de onda y compara el nivel de separación de cada prueba en relación al agua destilada. El promedio de absorbancia de cada una de ellas se muestra a continuación en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Valores de absorbancia promedio de la figura 4.4.

Numero de prueba	Absorbancia máxima(UA)
Prueba # 1	0.12302993
Prueba # 2	0.11083042
Prueba # 3	0.07905736
Prueba # 4	0.06942394
Agua destilada	0.04278803
Agua potable	0.04197756

En la figura 4.4. se observa que a baja concentración y velocidad de centrifugación el tiempo es un parámetro importante (pero no tan marcado como en las pruebas anteriores) debido a que se reduce el nivel de absorbancia en el rango del 11% de la prueba 1 a la 2, estas realizadas a una misma velocidad pero a diferente tiempo, mismo que a alta velocidad pierde importancia debido a que se reduce el nivel de absorbancia en el rango del 36% de la prueba 1 a la 3 a un mismo tiempo y diferente velocidad, de igual manera que en la 2 y la 4, esta última es la que más se acerca a la del agua destilada, dejando en claro que a baja concentración la velocidad de centrifugación es el parámetro más importante.

En general a esta concentración la diferencia de absorbancia es menos marcada que en las otras corridas pero tiene el mismo comportamiento.



Figura

4.4. Absorbancia vs longitud de onda realizada a un cuarto de la concentración inicial.

4.4.2.2. Segunda corrida a Co

Las pruebas para la figura 4.5. Fueron realizadas a la concentración inicial, equivalente a 12.387g/l, se fija la velocidad en 2500 y 7500rpm, por tiempos de 1 y 10 minutos, en la microcentrífuga marca MiniSpin. Posteriormente, las muestras se analizan en el espectrofotómetro 6505 UV/Vis marca JENWAY para medir la absorbancia, con lo que se grafica contra la longitud de onda y compara el nivel de separación de cada prueba en relación al agua destilada. El promedio de absorbancia de cada una de ellas se muestra a continuación en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Valores de absorbancia promedio de la figura 4.5.

Numero de prueba	Absorbancia máxima(UA)
Prueba # 5	0.19191521
Prueba # 6	0.14483042
Prueba # 7	0.10169825
Prueba # 8	0.09084539
Agua destilada	0.04278803
Agua potable	0.04197756

En la figura 4.5. Se observa que a concentración inicial y a baja velocidad de centrifugación el tiempo es un parámetro que cobra relevancia debido a que logra reducir el nivel de absorbancia en el rango del 25% de la prueba 5 a la 6 a una misma velocidad pero a diferente tiempo, mientras que a alta velocidad de centrifugación el tiempo pierde importancia debido a que de la prueba 7 a la 8 sólo se reduce un 11%, siendo la misma velocidad y diferente tiempo. Sin embargo, de la prueba 5 a la 7 el nivel de absorbancia se reduce en el rango del 48%, a un mismo tiempo pero a distinta velocidad.

En general, a la concentración inicial el parámetro más importante es la velocidad de centrifugación.

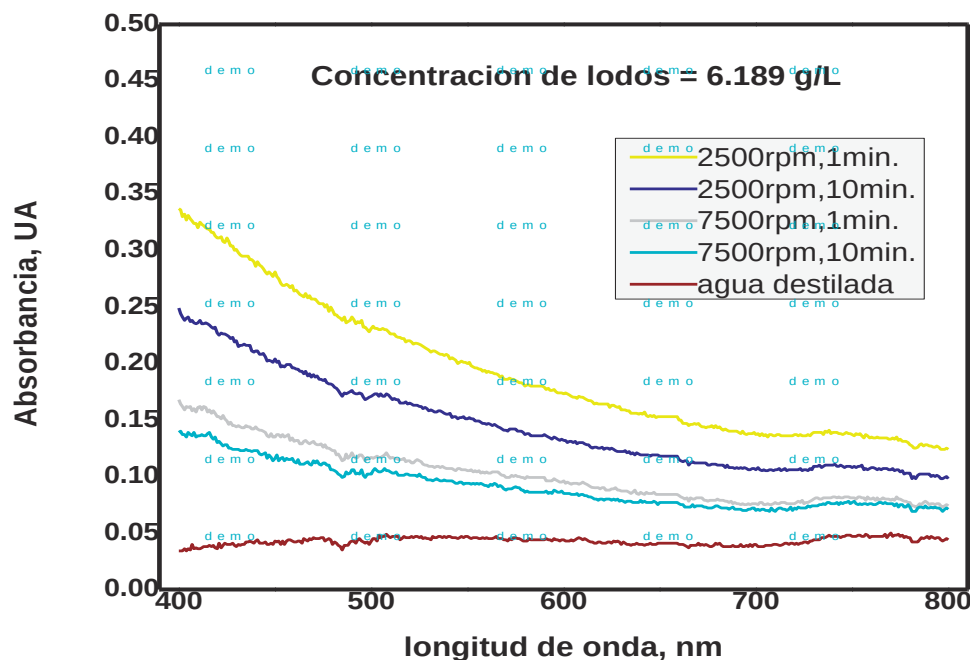


Figura 4.5. Absorbancia vs longitud de onda realizada a la concentración inicial.

4.4.3. Tercera corrida

Para la tercera corrida se realizan 2 graficas una a la mitad de la concentración inicial y la otra al doble.

4.4.3.1. Tercera corrida a $1/2C_0$

Las pruebas para la figura 4.6 fueron realizadas a la mitad de la concentración inicial, equivalente a 3.0945g/l, se fija la velocidad en 1000 y 13400rpm con tiempos de 2 y 15 minutos, en la microcentrífuga marca MiniSpin. Posteriormente, las muestras se analizan en el espectrofotómetro 6505 UV/Vis marca JENWAY para medir la absorbancia, con lo que se grafica contra la longitud de onda y compara el nivel de separación de cada prueba en relación al agua destilada. El promedio de absorbancia de cada una de ellas se muestra a continuación en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Valores de absorbancia promedio de la figura 4.6.

Numero de prueba	Absorbancia máxima(UA)
Prueba # 1	0.25845387
Prueba # 2	0.18814963
Prueba # 3	0.06222444
Prueba # 4	0.05238404
Agua destilada	0.04278803
Agua potable	0.04197756

En la figura 4.6. se observa claramente que a baja velocidad de centrifugación el tiempo es un parámetro importante debido a que se reduce el nivel de absorbancia en el rango del 28% de la prueba 1 a la 2 a una misma velocidad pero a diferente tiempo, mismo que a alta velocidad pierde importancia debido a que se reduce el nivel de absorbancia en el rango de 76% de la prueba 1 a la 3 a un mismo tiempo y a diferente velocidad, de igual manera que en la 2 y 4, esta última es la que más se acerca a la del agua destilada, dejando en claro que la velocidad de centrifugación es el parámetro más importante.

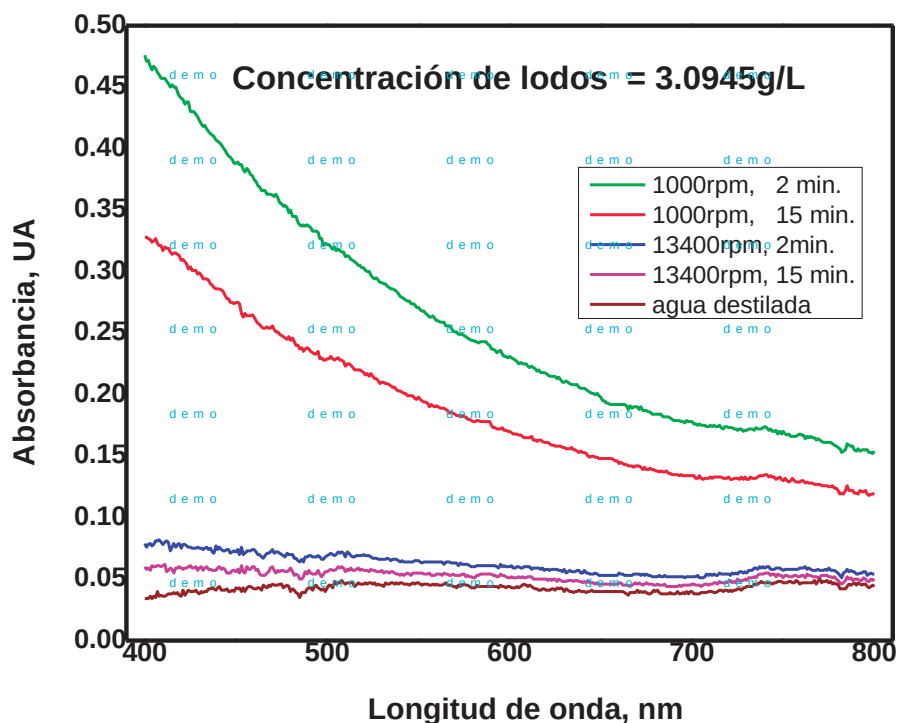


Figura 4.6. Absorbancia vs longitud de onda realizada a la mitad de la concentración inicial.

4.4.3.2. Tercera corrida a 2Co

Las pruebas para la figura 4.7. Fueron realizadas al doble de la concentración inicial, equivalente a 12.387g/l, se fija la velocidad en 1000 y 13400rpm, por tiempos de 2 y 15 minutos, en la microcentrífuga marca MiniSpin. Posteriormente, las muestras se analizan en el espectrofotómetro 6505 UV/Vis marca JENWAY para medir la absorbancia, con lo que se grafica contra la longitud de onda y compara el nivel de separación de cada prueba en relación al agua destilada. El promedio de absorbancia de cada una de ellas se muestra a continuación en la tabla 4.7.

Tabla 4.7. Valores de absorbancia promedio de la figura 4.7.

Número de prueba	Absorbancia Promedio (UA)
Prueba # 5	0.213773067
Prueba # 6	0.11797756
Prueba # 7	0.06642893
Prueba # 8	0.05069077
Agua destilada	0.04278803
Agua potable	0.04197756

En la figura 4.7. se aprecia que a alta concentración y a baja velocidad de centrifugación el tiempo es un parámetro que cobra relevancia debido a que logra reducir el nivel de absorbancia en el rango del 46% de la prueba 5 a la 6 a una misma velocidad pero a diferente tiempo, mientras que a alta velocidad de centrifugación el tiempo pierde importancia, de la prueba 5 a la 7 el nivel de absorbancia se reduce en el rango del 70%, a un mismo tiempo pero a distinta velocidad, con lo cual se demuestra que el parámetro mas importante es la velocidad de centrifugación.

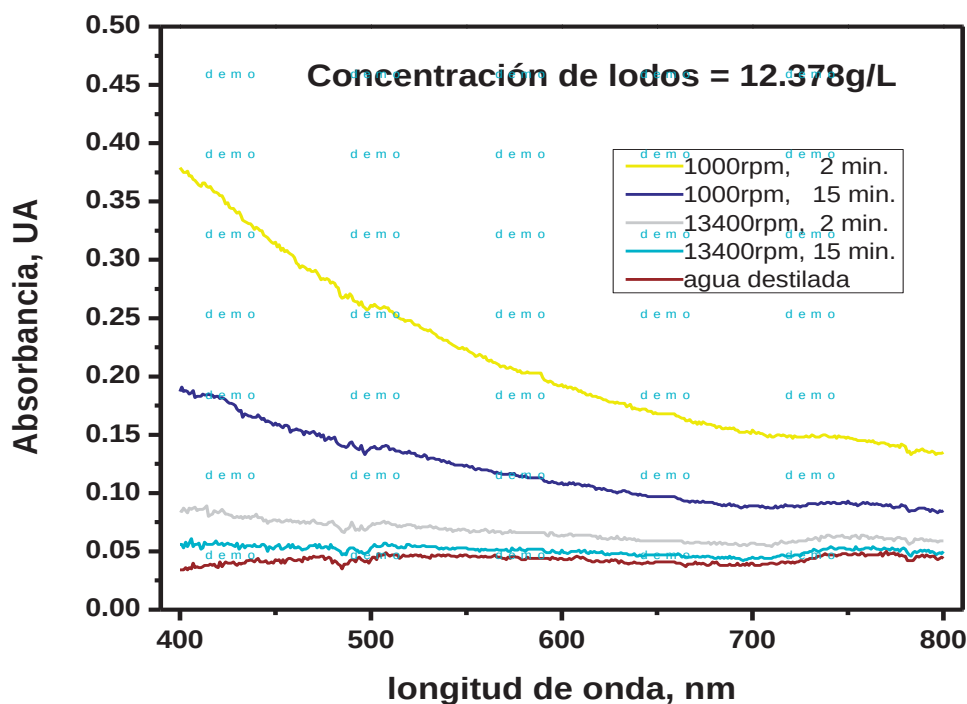


Figura 4.7. Absorbancia vs longitud de onda realizada al doble de la concentración inicial

4.5. Determinación de la velocidad de sedimentación

En las figuras 4.8, 4.9 y 4.10 se muestran 3 etapas de la medición de tiempo contra altura, esto para construir una grafica de tiempo contra altura y poder determinar la velocidad de sedimentación como se muestra en la figura 4.11.



Figura 4.8. Tiempo = 0, altura = 35.9cm



Figura 4.9. Tiempo = 23min., altura = 16.8cm.



Figura 4.10. Tiempo = 1333min, altura = 4.5cm

En la figura 4.11. Se determina el valor de t_u que es de 250 min. El cual se utiliza para calcular el área del tanque sedimentador.

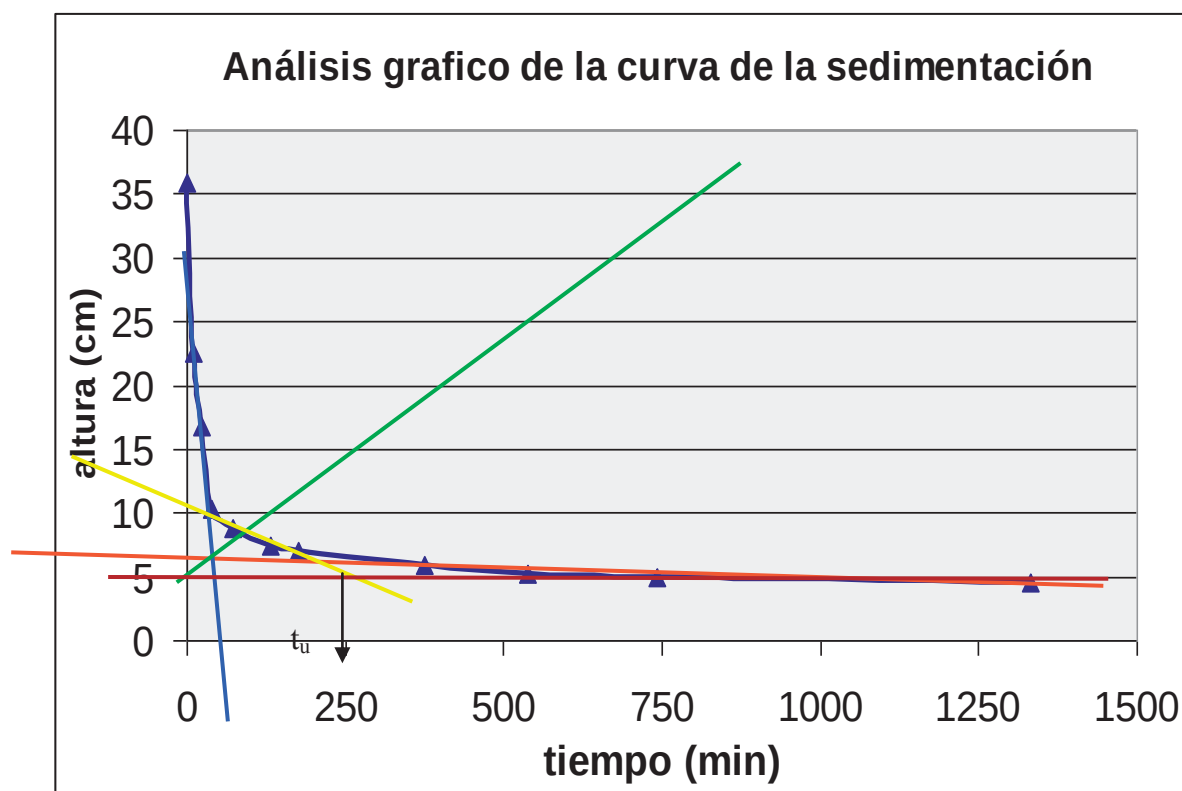


Figura 4.11. Curva de sedimentación simple, altura contra tiempo.

Tabla 4.8 velocidad de sedimentación, tiempo vs altura

Tiempo (min.)	altura (cm)
0	35.9
10	22.6
23	16.8
40	10.3
73	8.8
133	7.4
176	7
376	5.9
538	5.2
743	4.9
1333	4.5

$$Q = (A * H_0) / t_u$$

$$t_u = 250 \text{ min} = \underline{\underline{4.166 \text{ horas}}}$$

$$H_0 = 35.9 \text{ cm} = 0.359 \text{ m}$$

$$Q = 2721.6 \text{ m}^3/\text{dia} = 113.4 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$A = (Q * t_u) / H_0$$

$$A = (113.4) * (4.166) / (0.359)$$

$$\underline{\underline{A = 1316.155 \text{ m}^2}}$$

Si el tanque sedimentador fuera cuadrado tendría dimensiones de $= (36.27 \text{ m} * 36.27 \text{ m})$

Si el tanque sedimentador fuera circular tendría el diámetro siguiente:

$$A = (\pi D^2) / 4$$

$$D^2 = (4 A) / \pi$$

$$\underline{\underline{D = 40.93 \text{ m}^2}}$$

4.6. Potencia requerida en una centrifuga.

De acuerdo a las bases de datos de centrifugas industriales la de la figura 4.4 es la que mas se acerca a las especificaciones deseadas para una separación ideal, en la segunda corrida se realizaron las pruebas en el rango de 2500 a 7500 r.p.m. logrando llegar a buenos resultados como se apreciaron en las graficas 4.4 y 4.5. Por lo tanto al no encontrar centrifugas industriales con una mayor velocidad en el rango de 12000 y 13400 rpm. la centrifuga de la figura 4.4 es la que se recomienda.

	Modelo	Fuerza centrifuga Máxima G	RPM	Potencia Máxima (HP)	Peso neto (Kg)
	P-600/660	3070	6000	5	205
5 HP = 3.728560kW.					
Figura 4.4. centrifuga industrial marca PENNWALT SUPER-D-CANTER					

4.7. Discusión general de resultados

La separación por sedimentación simple no es una buena opción para separar los sólidos en la corriente de purga de la planta potabilizadora, algunos de los problemas que presenta el método son; el área del sedimentador es muy grande, no se puede instalar un tanque de esas dimensiones, el tiempo que tarda la sedimentación es del orden de 4 horas, entre otros, por lo que se debe optar por otro método de separación. La separación por centrifugación dio muy buenos resultados, por ejemplo el tiempo de residencia es del rango de 2 a 15 minutos y se obtiene una capacidad de separación mejor que en la sedimentación simple.

Capítulo 5

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de todo el trabajo realizado se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Con el proceso de centrifugación se logró la separación de los sólidos
- En general en las tres corridas que se realizaron, a una velocidad baja(1000 rpm), el tiempo es un factor importante, pero conforme se aumenta la velocidad de centrifugación (12500-13400) el tiempo va perdiendo relevancia
- En el grado que se aumenta la velocidad de centrifugación se obtiene una mejor separación de sólidos
- Para separar una muestra de la suspensión por sedimentación simple se necesitan 4.166 horas, mientras que para obtener una mejor separación por centrifugación es necesario un tiempo del orden de 2 a 15 minutos

Recomendaciones:

Una vez que se aplicó el proceso de centrifugación a la corriente de agua residual, se obtiene un clarificado al cual se le deben de realizar exámenes microbiológicos, y dependiendo de los resultados que se obtengan se puede decidir donde ubicar la nueva corriente de agua tratada, si está limpia de bacterias se puede colocar directamente en los tanques de almacenamiento, pero si el agua tratada tiene bacterias se debe colocar en el proceso de desinfección.

Otra alternativa para el agua limpia de bacterias es aplicarle un proceso secundario y convertirla en agua destilada, (esto debido a la cercanía en el nivel de absorbancia con el agua destilada).

Los sólidos obtenidos del proceso de separación (arcilla), pueden tener aplicación para crear tabique, adobe o para realizar utensilios de barro para cocina por ejemplo, ollas, platos, cantaros etc.

Referencias:

- 1.- Mc. Cabe, Smith, Harriot; 1999
-Operaciones Unitarias en Ingeniería Química
-6ª Edición,
- Ed. McGraw Hill
- 2.- C. J. Geankoplis; 2003
-Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias
-Ed. C. E. C. S. A
- 3.- Kemer N. Frank; 1995
-Manual del Agua. Tomo 1
-Ed. McGraw Hill
- 4.- Weber; 1979
-Control de calidad del agua, procesos fisicoquímicos
- Ed. Reverte
- 5.- Arboleda Valencia Jorge; 2000
-Teoría y práctica de la purificación de agua
-Ed. McGraw Hill
- 6.- Tesis: M. C. José Apolinar Cortes; 2000.
-Eliminación de color de una agua residual por medio de la adición de una arcilla y usando $\text{Al}(\text{SO}_4)$ como coagulante.
- 7.- Tesis: I.Q. Berenice Hernández Servin; 2003
-Efecto de la recirculación de agua recuperada sobre la dosis de $\text{Al}(\text{SO}_4)$ como coagulante en un proceso de potabilización
- 8.- American Society for Testing.
-Manual de aguas para usos Industriales Tomo 1.
-Ed. Limusa S.A de C.V.
-México D.F. 1992.

Direcciones de Internet.

- www.unacar.mx/contenidoldifusion/acalanqpdf/tratamiento.html.
- www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/
- www.salud.gob.mx/unidades/ECOL.pdf
- www.textoscientificos.com › Principal › Química46
- www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r4009.DOC
- www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/.../cuatroycinco.pdf
- <http://www.monografias.com/trabajos7/centri/centri.shtml>
- <http://www.dolphinmarine.com/?source=google&gclid=CKm7ycjswJ8CFQcQagodnC2y0Q>
- <http://www.javeriana.edu.co/Facultades/Ciencias/neurobioquimica/libros/celular/centrizonal.htm>

Glosario

Absorbancia: Es la cantidad de intensidad de luz que absorbe una muestra.

Agua cruda: Agua que ha de ser tratada antes de convertirse en agua potable. También llamada agua bruta.

Agua para uso y consumo humano: Agua que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos para la salud.

Arcilla: La arcilla es un material natural que está constituido por minerales en forma de granos. Puede ser un material muy moldeable al ser combinado con agua, por se le puede dar cualquier forma y luego, se endurece al secar o al ser sometida al calor.

Alumbre: Se conoce como **alumbre** a un tipo de sulfato doble compuesto por el sulfato de un metal trivalente, que no tiene por que ser el aluminio, y otro de un metal monovalente

Bentonita: Es una arcilla utilizada en cerámica de grano muy fino (coloidal) del tipo de la *montmorilinita* que contiene bases y hierro.

Caolín o caolinita: Es una arcilla blanca muy pura que se utiliza para la fabricación de porcelanas y de aprestos para almidonar. También es utilizada en ciertos medicamentos y como agente adsorbente

Características físicas y organolépticas: Las que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, el sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determina por medio de métodos analíticos de laboratorio.

Centrífuga: Es una máquina que pone en rotación una muestra para separar por fuerza centrífuga sus componentes o fases (generalmente una sólida y una líquida), en función de su densidad. Existen diversos tipos de centrífugas, comúnmente para objetivos específicos

Cimentación: Se denomina **cimentación** al conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la edificación al suelo.

Clarificado: Hacer que una sustancia sea menos densa o espesa

Coagulación química: Adición de compuestos químicos al agua, para alterar el estado químico de los sólidos disueltos, coloidales o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración.

Coloide: Es un sistema físico-químico formado por dos fases: una *continua*, normalmente fluida, y otra *dispersa* en forma de partículas; por lo general sólidas

Emulsión: Es una mezcla de dos líquidos inmiscibles de manera más o menos homogénea. Un líquido (la fase dispersa) es dispersado en otro (la fase continua o fase dispersante). Muchas emulsiones son emulsiones de aceite/agua, con grasas alimenticias como uno de los tipos más comunes de aceites encontrados en la vida diaria.

Filtración: Es una técnica, proceso tecnológico u operación unitaria de separación, por la cual se hace pasar una mezcla de sólidos y fluidos, gas o líquido, a través de un medio poroso o medio filtrante que puede formar parte de un dispositivo denominado filtro, donde se retiene de la mayor parte de él o de los componentes sólidos de la mezcla.

Floculación: Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado. Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial y del tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería

Floculo: Es un grumo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión.

Fluctuación: Diferencia entre el valor instantáneo de una cantidad fluctuante y su valor normal

Frecuencia: Es una medida que se utiliza generalmente para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en la unidad de tiempo

Frecuencia acumulada: Es la suma de las frecuencias absolutas de todos los valores inferiores o iguales al valor considerado

Micra: Unidad de longitud equivalente a la millonésima parte de un metro, representada por el símbolo griego μ y la letra m (metro): μm . Se denomina micra, micrón o micrómetro

Picnómetro: Es un frasco con un cierre sellado de vidrio que dispone de un tapón provisto de un finísimo capilar, de tal manera que puede obtenerse un volumen con gran precisión. Esto permite medir la densidad de un fluido, en referencia a la de un fluido de densidad conocida como el agua o el mercurio.

Potabilización: El término se aplica al agua que ha sido tratada para su consumo humano según unas normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.

SD: Desviación estándar correspondiente a la media esperada.

Sílice activada: Es una suspensión coloidal de ácidos polisilícicos hidratados, producida por la neutralización parcial de la alcalinidad caustica del silicato sódico comercial.

Solución: Es cuando un compuesto ya sea líquido o sólido está solubilizado o diluido en un solvente (agua, benceno, etc.).

Suspensión: Es cuando partículas no solubles están suspendidas en algún solvente, es decir estas partículas muy pequeñas están distribuidas en todo el solvente de tal forma que pareciera que estuviera disuelto.

SW: Desviación estándar en tablas

Taludes: Es la teoría que estudia la estabilidad o posible inestabilidad de un talud a la hora de

realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de ingeniería civil, siendo un aspecto directamente relacionado con la geotecnia

Turbidez: Se entiende por **turbidez** a la falta de transparencia de un líquido, debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido, generalmente se hace referencia al agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad.

Velocidad angular: Es una medida de la velocidad de rotación. Se la define como el ángulo girado por unidad de tiempo y se la designa mediante la letra griega ω . Su unidad en el S.I. es el radián por segundo (rad/s).

Velocidad tangencial: es la velocidad del móvil (distancia que recorre en el tiempo).