

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

RESOLUCIÓN DE GERENCIA GENERAL N° 112-2024-EPS-M/GG

Moyobamba, 02 de setiembre de 2024.

VISTO:

El Informe N° 874-2024-EPS-M/GG/GO de fecha 28 de agosto de 2024, Informe N° 237-2024-EPS-M/GG/GO/OPAPTAR de fecha 28 de agosto de 2024, y;

CONSIDERANDO:

Que la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Moyobamba Sociedad Anónima – EPS MOYOBAMBA S.A., es una Empresa Pública de accionariado Municipal, que tiene por objeto de la prestación de los servicios de saneamiento en el ámbito de la provincia de Moyobamba, Departamento de San Martín y que se encuentra incorporada al Régimen de Apoyo Transitorio (RAT), según Resolución Ministerial N° 338-2015-VIVIENDA, publicado en el diario oficial el peruano el 18 de diciembre de 2015;

Que, el Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento (OTASS), asume su rol de administrador en la EPS MOYOBAMBA, a partir del 05 de abril del año 2017; en consecuencia, durante el periodo que dure el Régimen de Apoyo Transitorio, el Consejo Directivo del OTASS, constituye el órgano máximo de decisión de la EPS Moyobamba, ejerciendo las funciones y atribuciones de Junta General de Accionistas de la EPS Moyobamba S.A.;

Que, en el marco del Reglamento de Organización y Funciones (ROF) de la EPS MOYOBAMBA S.A., en el artículo 13° numeral 13.6, la Gerencia General en ejercicio de sus funciones está facultada para "Proponer o aprobar las directivas, guías, manuales, protocolos, instructivos y procedimientos de administración, recursos humanos, finanzas, presupuesto, inversión pública, relaciones institucionales y otras, en concordancia con los lineamientos que establezca el Directorio, así como la normativa en dichas materias que le son aplicables, dando cuenta al Directorio de la implementación de las mismas";

Que, de acuerdo con lo establecido en los artículos 46 y 47 del Reglamento de Organización y Funciones formalizada por Resolución de Gerencia General N° 012-2020-EPS-M/GG de fecha 05 de febrero de 2020, la Oficina de Producción de Agua Potable es la unidad orgánica que depende de la Gerencia de Operaciones, responsable de planificar, formular, proponer, dirigir, ejecutar y controlar las operaciones del sistema de tratamiento del agua potable (...), y tiene la función de supervisar el control de los procesos de tratamiento del agua potable: caudal de agua captada, caudal de ingreso a planta, parámetros físicos químicos, dosificación óptima de insumos químicos, cloro residual en los reservorios;

Que, a través del Informe N° 237-2024-EPS-M/GG/GO/OPAPTAR, de fecha 28 de agosto de 2024, la Oficina de Producción de Agua Potable y Tratamiento de Aguas Residuales, hace llegar a la Gerencia de Operaciones el Programa de Determinación de Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio para los Sistemas de Producción de Agua Potable (PTAP



Firmado digitalmente por
ZEBALLOS ZEBALLOS
FLORENCIO PERCY
Motivo: Day V° B°
Fecha: 02.09.2024 11:00:23 -05:00



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

RESOLUCIÓN DE GERENCIA GENERAL N° 112-2024-EPS-M/GG

San Mateo, PTAP Almendra y Sistema Juninguillo), el mismo que será aplicado para los ensayos de prueba de jarras para la determinación de dosis y concentraciones óptimas de Sulfato de Aluminio para el tratamiento de agua en la PTAP San Mateo, PTAP Almendra y Sistema Juninguillo, solicitando su aprobación mediante acto resolutivo, para su posterior socialización con el personal operario de la EPS MOYOBAMBA S.A.;

Que, mediante Informe N° 874-2024-EPS-M/GG/GO, de fecha 28 de agosto de 2024, el Gerente de Operaciones, solicita al Gerente General la aprobación del Programa de Determinación de Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio para los Sistemas de Producción de Agua Potable (PTAP San Mateo, PTAP Almendra y Sistema Juninguillo), con el objeto de ser aplicado para los ensayos de prueba de jarras para la determinación de dosis y concentraciones óptimas de Sulfato de Aluminio para el tratamiento de agua en la PTAP San Mateo, PTAP Almendra y Sistema Juninguillo;

Que, en ese sentido y estando a lo informado por los documentos de Vistos, resulta necesario expedir el acto resolutivo que aprueba el Programa de Determinación de Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio para los Sistemas de Producción de Agua Potable (PTAP San Mateo, PTAP Almendra y Sistema Juninguillo), con el objeto de ser aplicado para los ensayos de prueba de jarras para la determinación de dosis y concentraciones óptimas de Sulfato de Aluminio para el tratamiento de agua en la PTAP San Mateo, PTAP Almendra y Sistema Juninguillo;

Que, mediante Resolución Directoral N° 000029-2023-OTASS-DE de fecha 10 de marzo de 2023, se designa al señor IVÁN GUSTAVO REÁTEGUI ACEDO, identificado con DNI N° 01130970 como Gerente General de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Moyobamba Sociedad Anónima – EPS MOYOBAMBA S.A., en el marco de lo Dispuesto en el TUO del Decreto Legislativo N°1280, Ley Marco de la Gestión y prestación de los Servicios de Saneamiento; y se le DELEGAN LAS FACULTADES DE GERENTE GENERAL de la EPS Moyobamba S.A; así como aquellas establecidas en el Estatuto Social de la Entidad, inscrito en la partida N°11001045 de la oficina registral de Moyobamba;

Con el V°B° de la Gerencia de Administración y Finanzas, Gerencia de Asesoría Jurídica, Gerencia de Operaciones, y en uso de las facultades y atribuciones conferidas a este Despacho a través del Estatuto Social de la empresa;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - APROBAR el Programa de Determinación de Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio para los Sistemas de Producción de Agua Potable (PTAP San Mateo, PTAP Almendra y Sistema Juninguillo), con el objeto de ser aplicado para los ensayos de prueba de jarras para la determinación de dosis y concentraciones óptimas de Sulfato de Aluminio para el tratamiento de agua en la PTAP San Mateo, PTAP Almendra y Sistema Juninguillo, que en anexo adjunto forma parte integrante de la presente resolución.

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

RESOLUCIÓN DE GERENCIA GENERAL N° 112-2024-EPS-M/GG



Firmado digitalmente por
ZEBALLOS ZEBALLOS
FLORENCIO PERCY
Motivo: Day V° B°
Fecha: 32.09.2024 11:30:46 -05:00

ARTÍCULO SEGUNDO. - DISPONER que la Oficina de Producción de Agua Potable y Tratamiento de Aguas Residuales, será responsable de cumplir con lo dispuesto en el artículo primero de la presente resolución, en el marco de sus competencias, para lo cual debe ser comunicado con el contenido de la presente resolución.

ARTÍCULO TERCERO. - DISPONER a la Oficina de Tecnología de la Información y Comunicaciones, proceda a publicar la presente resolución y su anexo en la Página Web Institucional de la EPS Moyobamba S.A. (www.epsmoyobamba.com.pe).

ARTÍCULO CUARTO. - NOTIFICAR la presente resolución y su anexo, a la Gerencia de Asesoría Jurídica, Gerencia de Administración y Finanzas, Gerencia de Operaciones, Oficina de Producción de Agua Potable y Tratamiento de Aguas Residuales, y demás instancias competentes interesadas.

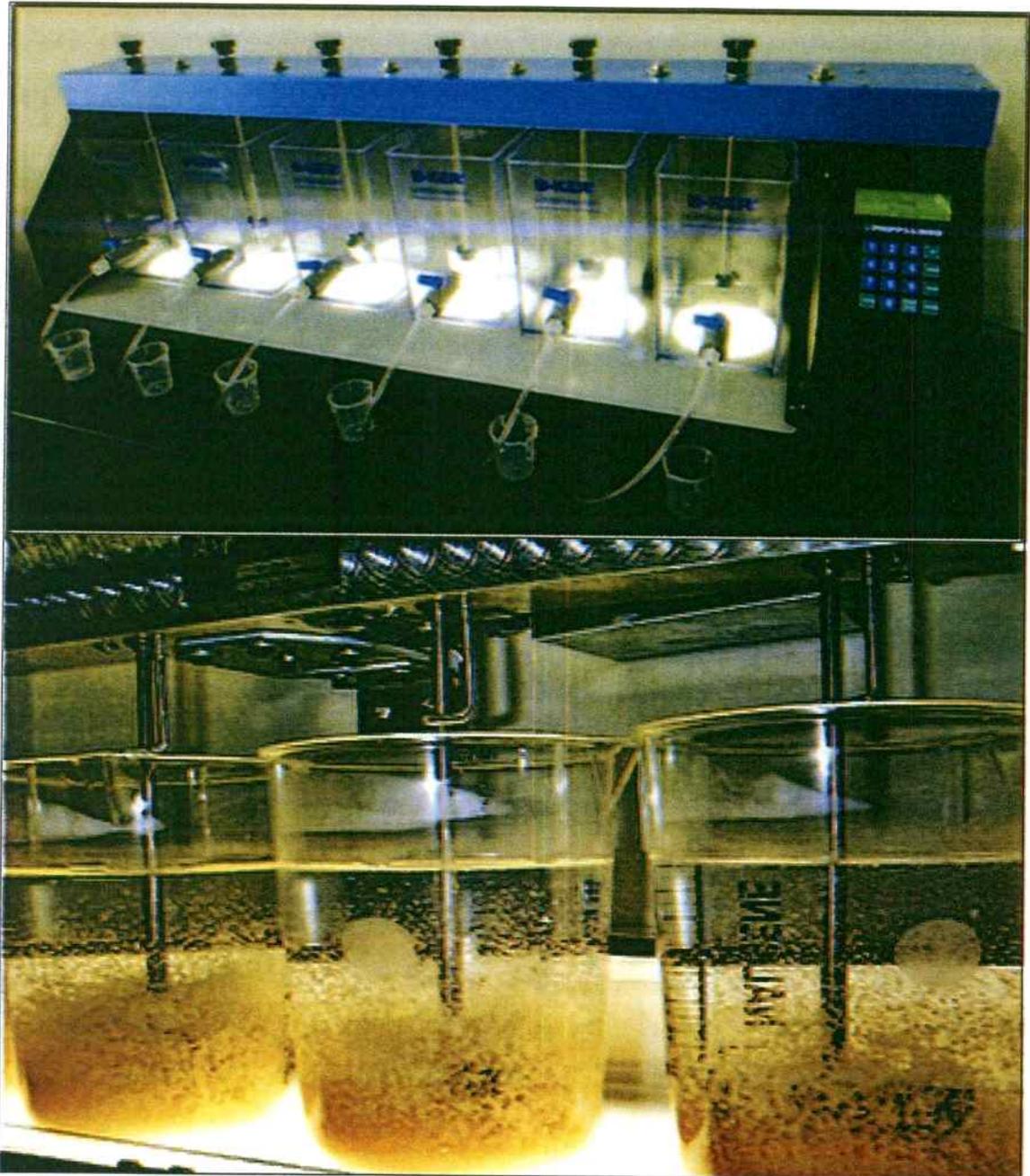


REGÍSTRASE, COMUNÍQUESE, CÚMPLASE Y ARCHÍVESE



EPS MOYOBAMBA S.A.
[Handwritten Signature]
Ing. Pedro Gustavo Rodríguez Acevedo
GERENTE GENERAL

EPS - MOYOBAMBA S.A.



**PROGRAMA DE DETERMINACIÓN DE DOSIS Y CONCENTRACIÓN
ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO EN LOS SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA EPS MOYOBAMBA S.A.
(PTAP SAN MATEO Y PTAP ALMENDRA)**

2024

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN:	3
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA EPS MOYOBAMBA S.A.:.....	3
PTAP San Mateo:.....	3
PTAP Almendra:	4
COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN:.....	5
AGENTES COAGULANTES:	6
COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN:.....	7
Coagulación:	8
Floculación:.....	8
COAGULANTES:.....	9
Sulfato de Aluminio:.....	9
ENSAYO DE JARRAS:	9
TAMAÑO DEL FLÓCULO: ÍNDICE DE WILLCOMB:	11
DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO:	11
DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO:.....	15
FORMATO PARA DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO CON ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS:.....	17



INTRODUCCIÓN:

El agua potable se considera uno de los principales objetivos dentro de la salud pública, en cuanto a su suministro, acceso y uso, con el fin de garantizar ese recurso a la población. Existen determinadas normas que establecen los valores mínimos y máximos en cuanto al contenido de minerales, pH, patógenos, entre otros parámetros con los cuales se mantiene un control dentro del proceso de garantizar un agua como apta para consumo.

El proceso de Coagulación y Floculación tiene la necesidad de ser optimizado, ya que la turbidez y el color tienden a ser removidos dentro de este proceso y además son dos factores con los que se determina si el agua que ha sido tratada es apta para consumo humano. En este estudio se realizó el modelo de Redes Neuronales Artificiales como principal alternativa para la optimización de la determinación de la dosis de coagulante, sin embargo, se tuvo en cuenta el modelo de regresión lineal y polinomial, con los cuales se realizó también una estimación de los valores de dosis óptima para cada escenario de turbidez, todo esto con el fin de establecer qué modelo se ajusta en mayor medida y que al mismo tiempo permita obtener los resultados más óptimos.

Dentro de los procesos de la PTAP, el proceso de coagulación y floculación tiene un significativo porcentaje de error en cuanto a su efectividad, puesto que varía de acuerdo con las condiciones que presenta el afluente a tratar en tiempo real, afectando el valor de dosis de coagulante que se debe aplicar para una correcta remoción de sólidos suspendidos. A continuación, se explican con mayor detalle las operaciones de coagulación y floculación.



SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA EPS MOYOBAMBA S.A.:

PTAP San Mateo:



La PTAP San Mateo, es una Planta de Tratamiento de Agua Tipo Convencional, diseñada para un caudal de 65 l/s. La Planta está conformada por un sedimentador como unidad de pretratamiento, seguida de una unidad de mezcla rápida, floculadores de placas de flujo vertical, decantadores, filtros rápidos de tasa declinante autolavables y sistema de desinfección. Complementariamente, la planta cuenta con almacenes de sustancias químicas y cloración. El agua que abastece a la Planta de Tratamiento proviene de dos quebradas, Rumiyacu y Mishquiayacu; el agua de la quebrada de Rumiyacu es captada en una fuente, y llevada a través de tuberías a una pequeña represa donde se une con las aguas de la quebrada de Mishquiayacu.

Cuenta con 3 secciones de Floculadores de material asbesto cemento, con un tiempo de recorrido del agua de 25 minutos desde el ingreso hasta el final. El tratamiento que se realiza para la disminución de la turbiedad es con Sulfato de Aluminio Tipo A con 2 Dosificadores Volumétricos, que funcionan de manera alternada, cuya solución es administrada en el canal de mezcla rápida por medio de una tubería perforada.



Imagen 1. Floculadores del PTAP San Mateo

PTAP Almendra:

El agua producida en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Almendra, proviene de la quebrada Almendra que se encuentra ubicada en la altitud de 860 m.s.n.m. capta un caudal de aporte entre 12L/s, con tratamiento convencional, sin reservorio. Esta es tratada hasta convertirla en agua potable para ser entregada al sector oeste de la ciudad (Asentamiento Humanos, Urbanización Fonavi II, Barrio de Belén) con un caudal aproximado de 20 l/s de salida de Planta. La PTAP Almendra, cuenta con los siguientes procesos: Precloración, Mezcla rápida, Floculadores, Decantadores, Filtros rápidos y Desinfección, es de tipo hidráulico convencional con filtración rápida y fue diseñada para una capacidad de 12 l/s.

La PTAP Almendra cuenta con 2 secciones de Floculadores de material Polietileno, con un tiempo de recorrido del agua de 20 minutos desde el ingreso hasta el final. El tratamiento que se realiza para la disminución de la turbiedad es con Sulfato de Aluminio Tipo A de manera manual, dosificando en promedio 2 kg en 200 litros de agua, cuya solución es administrada en el canal de mezcla rápida por medio de goteo de una tubería perforada.





Imagen 2. Floculadores de PTAP Almendra

COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN:



La coagulación y la floculación, son considerados como dos procesos que deben ejecutarse uno seguido del otro en el orden mencionado, ya que son operaciones que actúan en el proceso de potabilización de agua con el fin de llevar a cabo la remoción de la turbiedad orgánica e **inorgánica o sólidos suspendidos que no son susceptibles a sedimentarse rápidamente**, así como la remoción de color verdadero y aparente, eliminación de virus, bacterias y microorganismos patógenos que presenten respuesta a estos métodos y también contribuyen con la destrucción de sustancias productoras de olor y sabor.



Por medio de la Coagulación se adiciona al fluido a tratar un agente coagulante que se encarga **de desestabilizar las cargas de las partículas coloidales que se encuentran en solución**. Los coloides (responsables de la turbidez y el color en el agua), generalmente poseen cargas eléctricas negativas y **al encontrarse en presencia de partículas pequeñas que poseen su misma carga se presenta una repulsión eléctrica que evita que dichas partículas se aglomeren para formar partículas de mayor tamaño y dar lugar a su sedimentación**.

El agente coagulante que permite la neutralización de las fuerzas que las mantienen separadas, lo cual se logra al someter al flujo a una agitación muy intensa o mezcla rápida que permita la dispersión de la totalidad del coagulante en el volumen de agua a tratar dentro del menor tiempo posible, dando lugar a la generación de un efecto de desestabilización más efectivo y en un menor período de tiempo.

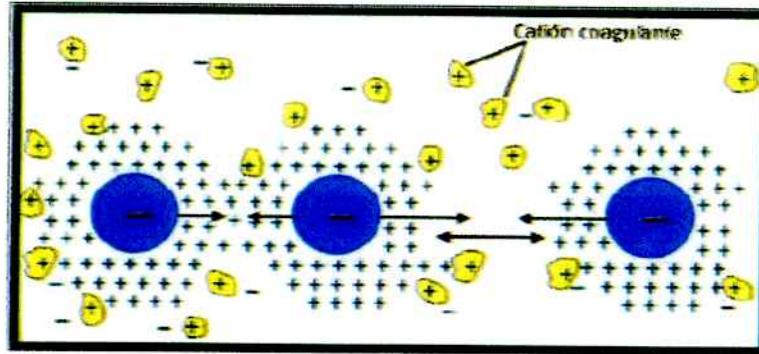


Figura 1. Desestabilización de las cargas en la Coagulación

Al quedar desestabilizada la carga de las partículas, estas se encuentran susceptibles a aglomerarse a otras que estén en suspensión en el fluido, siendo este el efecto que permite que se efectúe el aumento de su tamaño y se dé la formación de flocúlos, para lo cual es necesario llevar a cabo la floculación ya que este proceso es el que permite, por medio de una agitación lenta de la masa de fluido coagulada, que las partículas minúsculas desestabilizadas al colisionar con otras logren aumentar su tamaño y aglomerarse para de esta manera conformar los flocúlos que, al contar con el peso suficiente, por la acción de la gravedad se sedimentan posteriormente y pueden ser retirados del fluido que esté siendo sometido a tratamiento.

La importancia de la floculación radica en que es el proceso que complementa la eliminación de las fuerzas responsables de que las partículas se encuentren separadas y a su vez de transportarlas a través del fluido para que entren en contacto y establezcan puentes entre sí que les permitan aglomerarse. Esto es posible gracias a la reducción del potencial Z, el cual indica los cambios de potencial (producido por el colóide negativo y su atmósfera cargada positivamente) en la superficie y en las fuerzas de repulsión de los coloides, es decir que mide la magnitud y fuerza de la carga de cada partícula coloidal. Este potencial posee un valor crítico o punto isoeléctrico por encima del que los coloides son estables, pero los valores inferiores a él hacen que se presente una reducción en la repulsión de las partículas o disminución de la energía electrostática hasta un grado en el que al chocar con una velocidad determinada pueden unirse y producir flocúlos debido a que en dicho momento son mayores las fuerzas de atracción de Van der Waals frente a las fuerzas de repulsión iónica.

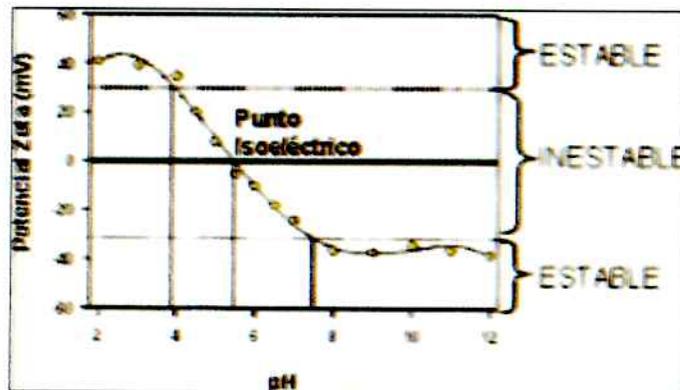


Figura 2. Potencial Z

AGENTES COAGULANTES:



Los coagulantes son considerados como compuestos químicos generalmente de hierro o aluminio o también como materiales naturales de origen vegetal, que son capaces de reaccionar con los componentes del agua (principalmente con la alcalinidad) para formar un precipitado voluminoso y absorbente que, en el caso de los compuestos químicos, se compone en gran parte por el hidróxido metálico del agente coagulante que este siendo usado. Este precipitado, normalmente insoluble, está conformado por pequeñas partículas que se han aglomerado debido a la acción del coagulante, las cuales se conocen como flóculos.

Los coagulantes pueden clasificarse en tres grandes grupos: Los coagulantes metálicos, los coagulantes de origen vegetal y los polielectrolitos o ayudantes de coagulación. Los dos primeros actúan durante el proceso de coagulación, mientras que los ayudantes ejercen su efecto en la floculación, contribuyendo con la formación de flóculos más pesados. También es común el uso de los coagulantes vegetales como coadyuvantes en el proceso de coagulación, dando como resultado la formación de flóculos con mejores características de sedimentación.

Dentro del primer grupo se encuentran ubicadas las sales de aluminio y de hierro, en el segundo se ubican los coagulantes de origen vegetal de uso más común como los almidones de papa, yuca, semillas de cactus, coco y frijol y por último se distinguen los polímeros o polielectrolitos, que son implementados como ayudantes de coagulación, razón por la que se usan en combinación con coagulantes químicos o de origen vegetal con el fin de aumentar la efectividad de la operación, además de que por el alto costo de los polielectrolitos se prefiere implementarlos en pocas cantidades. Por su parte, las sales de hierro son consideradas como el agente con mayor efectividad en la formación del floc ya que los flóculos que se forman como resultado de su acción poseen un mayor peso y por ende velocidad de sedimentación más elevada, sin embargo, son poco usadas debido a su costo elevado y a las exigencias de uso por el reducido rango de pH con el cual su actividad es efectiva. En cuanto a las sales de aluminio, se puede mencionar que se catalogan como los coagulantes de mayor uso dado a su bajo costo, fácil preparación y manejo y adicionalmente porque son capaces de llevar a cabo una coagulación óptima en un rango de pH bastante amplio, siendo este el caso del Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$).

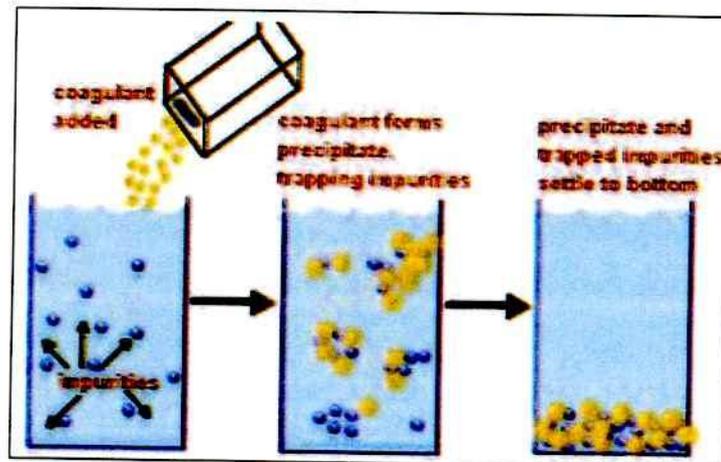


Figura 3. Efectos de los agentes coagulantes

COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN:

Coagulación:

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado (Agitación). Las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos. Tiene como finalidad anular las cargas eléctricas de las partículas y transformar las impurezas que se encuentran en suspensiones finas o en estado coloidal y algunas que están disueltas en partículas que puedan ser removidas por la decantación (sedimentación) y la filtración. Tales aglomerados gelatinosos se agrupan y producen los flóculos (floculación).

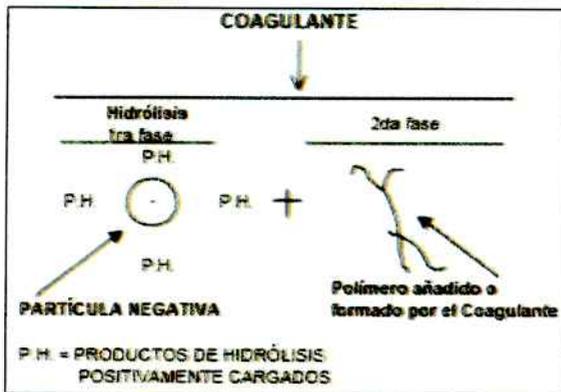


Figura 5. 1ª y 2ª Fase del proceso de Coagulación

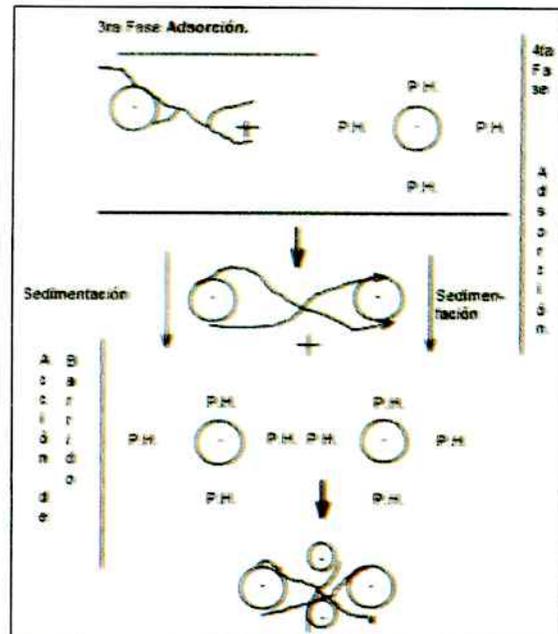


Figura 4. 3ª y 4ª Fase del proceso de Coagulación

Floculación:

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad.

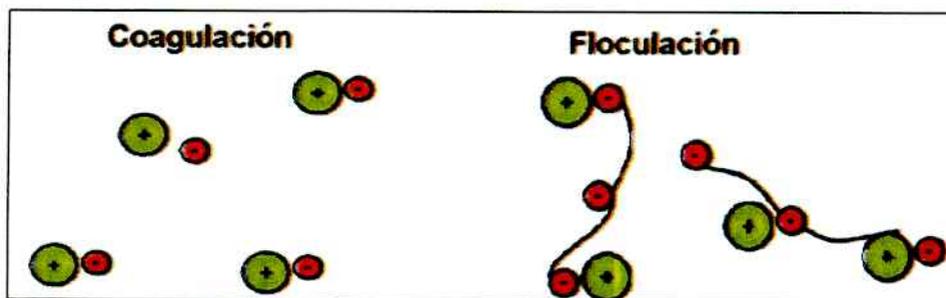


Figura 6. Diferencia Coagulación y Floculación



COAGULANTES:

Son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua. Especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante. Algunas características más importantes de los coagulantes son:

- Cargas opuestas al coloide, con el fin de neutralizar las fuerzas electrostáticas (Punto isoeléctrico o potencial zeta nulo).
- Han de tener la mayor valencia posible, para que la rotura de la estabilidad coloidal sea lo más rápida posible.
- Han de ser muy pesados, para que los flocúlos formados puedan separarse lo más rápidamente posible por precipitación.

 Sulfato de Aluminio	pH	5,0 a 8,0
 Sulfato ferroso	pH	8,5 a 11,0
 Sulfato Férrico	pH	5,0 a 11,0

Figura 7. Coagulantes más usados y rangos de pH

Sulfato de Aluminio:

Es considerado como el coagulante estándar con mayor uso en el tratamiento de aguas debido a que es fácil de producir y por ende posee un costo de comercialización relativamente bajo. Su rango óptimo de pH varía entre 5.5 y 8.0 unidades de pH, lo que contribuye a que en etapas anteriores del tratamiento de agua se disminuyan las actividades necesarias para conseguir un ajuste de pH del fluido, disminuyendo al mismo tiempo los costos de operación de la planta. Las dosis de Sulfato de aluminio usada para aguas superficiales varían normalmente de 5 a 50mg/L. Se comercializa en diversas presentaciones como en polvo, granulado, en escamas y en solución, siendo la primera la más común.

Es importante tener en cuenta que la cantidad a utilizar del agente coagulante debe ser definida con anterioridad por medio de procedimientos como el Ensayo de Jarras, ya que si se adiciona una cantidad mayor a la necesaria se presentará una inversión de las cargas, que conlleva a que el coloide vuelva a tener una carga eléctrica negativa y no se consiga la remoción de la turbidez, sucediendo esto mismo si el pH del fluido se encuentra por fuera del rango óptimo del agente coagulante utilizado. Si por el contrario la cantidad de coagulante es insuficiente no se logra neutralizar las cargas totalmente y la formación de flocúlos será mínima.

ENSAYO DE JARRAS:

Consiste en un arreglo de vasos de precipitado en los que a un volumen constante de agua se agregan diferentes dosis de coagulante (que representan una concentración específica del



agente coagulante) y se ejecutan las mezclas rápida y lenta por medio de un conjunto de paletas que componen el agitador múltiple, con las que se consiguen condiciones hidráulicas similares en todas las muestras. A cada uno de los vasos se le agrega una dosis con una concentración de coagulante determinada, que puede variar 0.5 mg/L entre vaso y vaso, posterior a esto se agitan las muestras a una velocidad de 70 rpm durante un minuto generalmente, para simular la mezcla rápida. Pasado este tiempo, se procede a simular la mezcla lenta, donde se disminuye la velocidad a un rango de 30 rpm por un lapso de 15 minutos, luego se deja sedimentar durante un tiempo de 20 minutos. Es importante tener en cuenta que estas condiciones pueden presentar variaciones de acuerdo al tipo de agua y coagulante con que se esté llevando a cabo el proceso.

La dosis óptima de un "jar-test" es una dosis que servirá para ir ajustando el proceso, lograr el funcionamiento óptimo y el rendimiento máximo. Esta dosis es la cantidad de coagulante a adicionar durante el proceso de potabilización del agua, el cual debe ser determinada con anterioridad, está dependerá principalmente del grado de turbidez que presente el agua a tratar.



Figura 8. Ensayo de Jarras

Factores que influyen en la coagulación:

- 1) Tipo de Coagulante.
- 2) Cantidad de Coagulante.
- 3) Cantidad y tipo de color (Turbidez).
- 4) Otras características químicas.
- 5) Concentraciones de iones.
- 6) Tiempo de mezcla rápida y lenta.
- 7) Temperatura.
- 8) Violencia de la agitación.
- 9) Presencia de núcleos.

El proceso de coagulación implica la dispersión del coagulante y su reacción con la alcalinidad (natural o agregada) para la formación de coágulos e incluso aglomeraciones de tales coágulos de flocs. La dosificación requerida para el tratamiento del agua se realiza experimentalmente en el laboratorio. La experiencia concluirá más rápido si antes de ser iniciada, el operador conoce los siguientes indicadores:

- 1) Temperatura del agua que se va a probar.
- 2) pH.
- 3) Color.

- 4) Turbidez.
- 5) Alcalinidad.
- 6) O₂ consumido.

TAMAÑO DEL FLÓCULO: ÍNDICE DE WILLCOMB:

Consiste en observar la forma como se desarrolla el floc en cada una de las jarras, escogiendo aquella que produzca el floc más grande, de mayor velocidad de asentamiento aparente, y que deje ver el agua más cristalina entre las partículas coaguladas, Willcomb clasifica los flóculos por su tamaño.

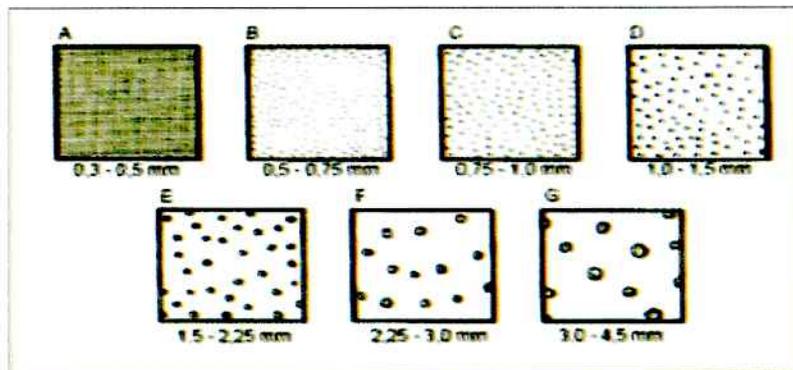


Figura 9. índice de Willcomb

La comparación de los tamaños del floc no es fácil. Algunos prefieren estimarlo de forma cualitativa, tal como se describe en la siguiente tabla:

Número del índice	Descripción	Observación
0	No visible	Ningún signo de aglutinación
2	Visible	Floc muy pequeño, casi imperceptible
4	Disperso	Floc bueno, sedimenta muy lentamente
6	Claro	Floc bueno, precipita con lentitud
8	Bueno	Floc bueno, que se deposita fácil pero no total
10	Excelente	Floc muy bueno, que se deposita total

Tabla 1. Índice de Willcomb

DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO:

La descripción del ensayo de coagulación se referirá al Sulfato de Aluminio. La técnica será la misma para los demás coagulantes:

1. Recolección de Datos

- **Calidad del Agua Cruda:** pH, turbiedad, alcalinidad, dureza, y presencia de otros contaminantes.
- **Características del Sulfato de Aluminio:** Concentración, pureza, y peso molecular.

2. Pruebas de Jarras

Las pruebas de jarras son experimentos a escala de laboratorio que simulan el proceso de coagulación-floculación en una Planta de Tratamiento de Agua.

Procedimiento:

1. Preparación de la Solución de Sulfato de Aluminio:

- Disolver una cantidad conocida de sulfato de aluminio en agua destilada para obtener una solución estándar. El objetivo de este ensayo es determinar la dosis de coagulante que produce la más rápida desestabilización de las partículas coloidales, que permita la formación de un flóculo grande, compacto y pesado, que pueda ser fácilmente retenido en los decantadores y que no se rompa y traspase el filtro. Dependiendo de los parámetros de la muestra de agua y principalmente de la turbiedad, se sugiere iniciar la dosificación según el cuadro siguiente:

Rango	Dosis Sugerida
Baja (<100 NTU)	Dosis creciente de 5-10 ppm
Media (<500 NTU)	Dosis creciente de 10-30 ppm
Alta (>500 NTU)	Dosis crecientes e 30-50 ppm

Tabla 2. Rangos de Dosificación sugeridos

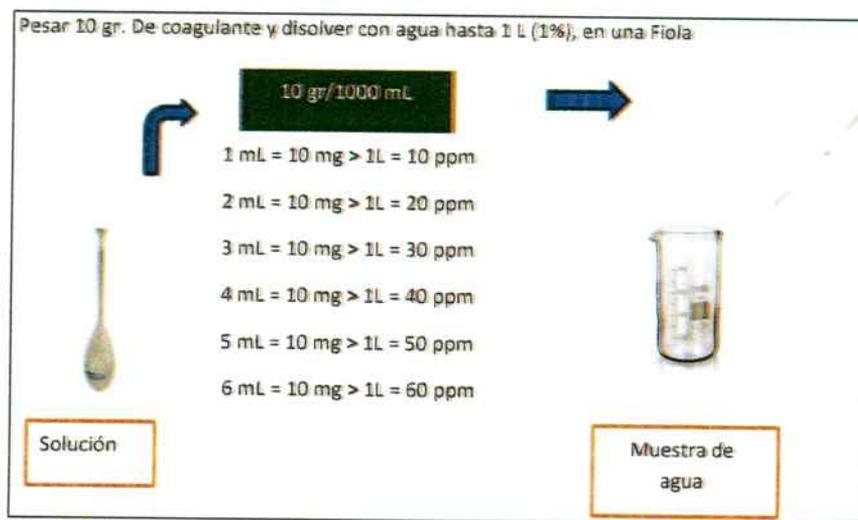


Figura 10. Preparación de solución y dosificación

2. Configuración de la Prueba:

- Llenar varias jarras con agua cruda (Por lo general suele ser 1000 mL)
- Añadir diferentes volúmenes de la solución de sulfato de aluminio a cada jarra para obtener distintas concentraciones. Medir con una pipeta la solución, de acuerdo a la dosis de aplicación para cada jarra y agregar con jeringa.

3. Agitación:



- Mezclar rápidamente por un minuto para dispersar el coagulante, por lo general, a razón de 300 rpm de velocidad. Agregar las soluciones medidas en cada jarra y controlar 3 segundos de mezcla.
 - Reducir la velocidad de agitación aproximadamente a 50 rpm y continuar mezclando lentamente durante 15-20 minutos para permitir la formación de flocos. Observar tiempo de formación de flocs en cada vaso. A los 15-20 minutos apagar velocidades y controlar facilidad de sedimentación, tamaño de flocs en cada jarra.
4. **Sedimentación:**
- Dejar las jarras en reposo para que los flocos sedimenten durante 30-60 minutos.
5. **Evaluación:**
- Medir la turbiedad del agua en cada jarra después de la sedimentación. También se puede realizar el control de pH, color, alcalinidad, residual del coagulante, etc.
 - Registrar la dosis de sulfato de aluminio que resultó en la menor turbiedad.

3. Determinación de la Dosis Óptima

- Analizar los resultados de las pruebas de jarras para identificar la dosis que proporciona la mayor claridad del agua. Encontrado los parámetros mencionados por el "jar-test", se puede conocer la cantidad de remoción de turbidez y color por medio de las ecuaciones 1 y 2, esto se realiza para concretar cual prueba se ajusta más al proceso comparándolo con el porcentaje de remoción obtenido de cada jarra:

Ecuación 1. Remoción de turbidez

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}} * 100$$

Ecuación 2. Remoción de color

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Color inicial} - \text{Color final}}{\text{Color inicial}} * 100$$

Teniendo la dosis óptima de cada prueba se realiza un escalonamiento de la dosis del coagulante a la Planta de Tratamiento de Agua Potable, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen (mL)} = \frac{Q * Dopt * T}{1000 * \rho}$$

Donde:

Volumen: Volumen del coagulante aplicado en un determinado tiempo (mL).

Q: Caudal de tratamiento de entrada en la Planta (l/s).

Dopt: Dosis óptima del coagulante obtenida de la Prueba de Jarras (mg/L).



T: Tiempo (s).

P: Densidad del coagulante (g/mL).

- Considerar factores económicos y operativos para ajustar la dosis a un nivel práctico y sostenible.

Curva de Dosis Óptima de Coagulante:

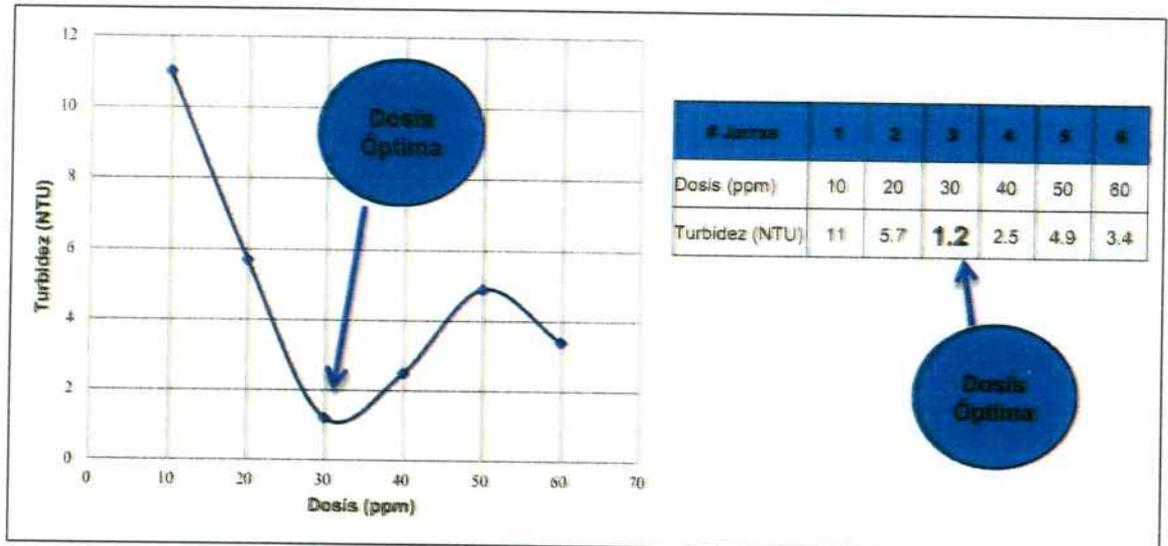


Figura 11. Ejemplo de dosis óptima de coagulante

4. Implementación y Monitoreo

- Implementar la dosis óptima en la Planta de Tratamiento.
- Monitorear continuamente la calidad del agua tratada y ajustar la dosis según sea necesario. Al terminar el Ensayo de Jarras a cada una de las muestras se les monitorearon nuevamente algunos de los parámetros relevantes para la coagulación y floculación como el pH, la conductividad, la turbidez, la temperatura y el color con el fin de determinar la dosis de coagulante que dio como resultado el mayor porcentaje de remoción de turbidez, es decir, aquella concentración de alumbre que mostró el nivel más bajo de turbidez en alguna muestra de cada uno de los experimentos.

5. Software o Herramienta Computacional

Para facilitar el proceso, se puede desarrollar un software o una hoja de cálculo que permita:

- **Ingresar datos:** Calidad del agua cruda y características del sulfato de aluminio.
- **Calcular dosis:** Determinar las dosis para las pruebas de jarras.
- **Analizar resultados:** Automatizar el análisis de los resultados y sugerir la dosis óptima.
- **Generar reportes:** Documentar los resultados y las recomendaciones.

Herramientas y Lenguajes de Programación

- **Excel:** Para cálculos y gráficos.



DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO:

La descripción del ensayo de coagulación se referirá al Sulfato de Aluminio. La técnica será la misma para los demás coagulantes:

Recolección de Datos Iniciales

1. **Calidad del Agua Cruda:** Medir parámetros como turbiedad, pH, alcalinidad, dureza, y concentración de materia orgánica.
2. **Características del Sulfato de Aluminio:** Concentración de la solución madre de sulfato de aluminio (por ejemplo, 10% w/v).

Preparación para las Pruebas de Jarras

1. **Preparar la Solución Madre:**
 - Preparar una solución concentrada de sulfato de aluminio. Por ejemplo, disolver 100 gramos de sulfato de aluminio en un litro de agua destilada para obtener una solución al 10%.

Procedimiento de Pruebas de Jarras

Configuración de la Prueba

1. **Preparar Muestras de Agua:**
 - Llenar varias jarras con volúmenes iguales de agua cruda.
2. **Añadir Sulfato de Aluminio:**
 - Añadir diferentes volúmenes de la solución madre a cada jarro para crear una serie de concentraciones diferentes de sulfato de aluminio. Ejemplo de concentraciones: 10 mg/L, 20 mg/L, 30 mg/L, 40 mg/L, 50 mg/L.

Proceso de Agitación y Sedimentación

1. **Agitación Rápida:**
 - Agitar rápidamente las jarras durante 1 minuto para dispersar bien el coagulante.
2. **Agitación Lenta:**
 - Reducir la velocidad y agitar lentamente durante 15-20 minutos para permitir la formación de flóculos.
3. **Sedimentación:**
 - Dejar reposar las jarras para que los flóculos sedimenten durante 30-60 minutos.

Evaluación de Resultados

1. **Medición de Turbiedad:**
 - Medir la turbiedad del agua en cada jarra después de la sedimentación utilizando un turbidímetro.



2. Análisis de pH:

- Medir el pH del agua tratada en cada jarra para asegurar que no haya un cambio significativo que podría indicar un problema con la dosificación del coagulante.

Determinación de la Concentración Óptima

1. Analizar los Resultados:

- Identificar la concentración de sulfato de aluminio que resulta en la menor turbiedad.

2. Evaluar Factores Económicos y Operacionales:

- Considerar los costos de químicos y la practicidad operativa para ajustar la concentración a un nivel óptimo que sea tanto efectivo como económico.

Implementación y Monitoreo Continuo

1. Aplicación en Planta:

- Implementar la concentración óptima de sulfato de aluminio en la Planta de Tratamiento.

2. Monitoreo:

- Realizar monitoreos continuos de la calidad del agua tratada para ajustar la concentración según sea necesario.

Desarrollo de una Herramienta Computacional

Se puede desarrollar una hoja de cálculo en Excel para facilitar la determinación de la concentración óptima. Por ejemplo, se podría estructurar de la siguiente manera en Excel:

1. Entrada de Datos:

- Columnas para las diferentes concentraciones de sulfato de aluminio añadidas.
- Columnas para las mediciones de turbiedad y pH resultantes.

2. Análisis:

- Fórmulas para calcular y comparar los resultados.
- Gráficos para visualizar la relación entre la concentración de sulfato de aluminio y la turbiedad.

3. Informe de Resultados:

- Un resumen que identifique la concentración óptima basada en los resultados experimentales.



FORMATO PARA DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO CON ENSAYO DE PRUEBA DE JARRAS:



DETERMINACIÓN DE DOSIS OPTIMA DE INSUMOS QUÍMICOS
ENSAYO N° PRUEBA DE JARRAS 2024

PROCEDENCIA DEL AGUA: _____ MEZCLA DE AGUA RUMIYACU - MISHQUIYACU

Fecha: _____
Hora: _____

<table border="0"> <tr><td>APC - f</td><td>_____ und</td></tr> <tr><td>pH</td><td>_____ und</td></tr> <tr><td>Conductividad</td><td>_____ uS/cm</td></tr> <tr><td>Turbidez</td><td>_____ NTU</td></tr> <tr><td>Color</td><td>_____ DU</td></tr> <tr><td>Arsénico</td><td>_____ mg/L As</td></tr> <tr><td>Aluminio</td><td>_____ mg/L Al</td></tr> <tr><td>Hierro</td><td>_____ mg/L Fe</td></tr> <tr><td>Dureza Total</td><td>_____ mg CaCO₃ L⁻¹</td></tr> <tr><td>TDS</td><td>_____ mg/L</td></tr> <tr><td>Temperatura</td><td>_____ °C</td></tr> </table>	APC - f	_____ und	pH	_____ und	Conductividad	_____ uS/cm	Turbidez	_____ NTU	Color	_____ DU	Arsénico	_____ mg/L As	Aluminio	_____ mg/L Al	Hierro	_____ mg/L Fe	Dureza Total	_____ mg CaCO ₃ L ⁻¹	TDS	_____ mg/L	Temperatura	_____ °C	<table border="0"> <tr><td>Tiempo de Mezcla Rápida:</td><td>_____ Seg</td></tr> <tr><td>Tiempo de Mezcla lenta:</td><td>_____ min</td></tr> <tr><td>Tiempo de Sedimentación:</td><td>_____ min</td></tr> <tr><td>Rev en mezcla Rápida</td><td>_____ r.p.m</td></tr> <tr><td>Rev en mezcla Lenta 1</td><td>_____ r.p.m</td></tr> <tr><td>Rev en mezcla Lenta 2</td><td>_____ r.p.m</td></tr> <tr><td>Rev en mezcla Lenta 3</td><td>_____ r.p.m</td></tr> <tr><td>Rev en mezcla Lenta 4</td><td>_____ r.p.m</td></tr> <tr><td>Rev en mezcla Lenta 5</td><td>_____ r.p.m</td></tr> </table>	Tiempo de Mezcla Rápida:	_____ Seg	Tiempo de Mezcla lenta:	_____ min	Tiempo de Sedimentación:	_____ min	Rev en mezcla Rápida	_____ r.p.m	Rev en mezcla Lenta 1	_____ r.p.m	Rev en mezcla Lenta 2	_____ r.p.m	Rev en mezcla Lenta 3	_____ r.p.m	Rev en mezcla Lenta 4	_____ r.p.m	Rev en mezcla Lenta 5	_____ r.p.m	<table border="0"> <tr><td>Vol Jarras</td><td>_____ ml</td></tr> <tr><td>Gradiente</td><td>_____</td></tr> <tr><td>Gradiente</td><td>_____</td></tr> <tr><td>Gradiente</td><td>_____</td></tr> <tr><td>Gradiente</td><td>_____</td></tr> <tr><td>Gradiente</td><td>_____</td></tr> </table>	Vol Jarras	_____ ml	Gradiente	_____								
APC - f	_____ und																																																					
pH	_____ und																																																					
Conductividad	_____ uS/cm																																																					
Turbidez	_____ NTU																																																					
Color	_____ DU																																																					
Arsénico	_____ mg/L As																																																					
Aluminio	_____ mg/L Al																																																					
Hierro	_____ mg/L Fe																																																					
Dureza Total	_____ mg CaCO ₃ L ⁻¹																																																					
TDS	_____ mg/L																																																					
Temperatura	_____ °C																																																					
Tiempo de Mezcla Rápida:	_____ Seg																																																					
Tiempo de Mezcla lenta:	_____ min																																																					
Tiempo de Sedimentación:	_____ min																																																					
Rev en mezcla Rápida	_____ r.p.m																																																					
Rev en mezcla Lenta 1	_____ r.p.m																																																					
Rev en mezcla Lenta 2	_____ r.p.m																																																					
Rev en mezcla Lenta 3	_____ r.p.m																																																					
Rev en mezcla Lenta 4	_____ r.p.m																																																					
Rev en mezcla Lenta 5	_____ r.p.m																																																					
Vol Jarras	_____ ml																																																					
Gradiente	_____																																																					
Gradiente	_____																																																					
Gradiente	_____																																																					
Gradiente	_____																																																					
Gradiente	_____																																																					

JARRA	DOSIS												Dureza Total mg CaCO ₃ L ⁻¹
	AL(SO ₄) ₃ aplicado en T ₀ (como producto comercial)	Polímero aplicado en T ₀ + 45"	Tiempo Formac. Floc. seg	Indice de Viscoso	pH und	COLOR U.C	TURBIDEZ NTU	Hierro mg Fe L ⁻¹	CONDUCTIVIDAD uS/cm	TDS MG/L	ALUMINIO mg Al L ⁻¹	SULFATOS mg SO ₄ = L ⁻¹	
1													
2													
3													
4													
5													
6													

Observaciones: _____

Coagulantes: Polímero Temperatura: Realizado con:	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; font-size: small;"> <tr><td>0</td><td>Floc. coagul. Ningún signo de aglutinación</td></tr> <tr><td>1</td><td>Mala Floc. muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado</td></tr> <tr><td>2</td><td>Dispersa Floc. bien formado pero uniformemente distribuido, sedimento muy entarriado, o no sedimenta</td></tr> <tr><td>3</td><td>Buena Floc. bien formado relativamente grande pero que precipita con lentitud</td></tr> <tr><td>4</td><td>Buena Floc. que se deposita fácilmente pero no completamente</td></tr> <tr><td>5</td><td>Excelente Floc. que se deposita poco después de dejar el agua cristalina</td></tr> </table>	0	Floc. coagul. Ningún signo de aglutinación	1	Mala Floc. muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado	2	Dispersa Floc. bien formado pero uniformemente distribuido, sedimento muy entarriado, o no sedimenta	3	Buena Floc. bien formado relativamente grande pero que precipita con lentitud	4	Buena Floc. que se deposita fácilmente pero no completamente	5	Excelente Floc. que se deposita poco después de dejar el agua cristalina
0	Floc. coagul. Ningún signo de aglutinación												
1	Mala Floc. muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado												
2	Dispersa Floc. bien formado pero uniformemente distribuido, sedimento muy entarriado, o no sedimenta												
3	Buena Floc. bien formado relativamente grande pero que precipita con lentitud												
4	Buena Floc. que se deposita fácilmente pero no completamente												
5	Excelente Floc. que se deposita poco después de dejar el agua cristalina												

