



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Optimización de la estación potabilizadora de Ariza
(Zaragoza)

Autor

Pablo Cortés Carrascón

Directora

Eva Francés Pérez

EINA

2015



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Pablo Cortés Carrascón _____,

con nº de DNI 17455906-X _____ en aplicación de lo dispuesto en el art. 14

(Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por

el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza, Declaro

que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Grado _____,

(Título del Trabajo) Optimización de la estación potabilizadora de Ariza (Zaragoza)

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 16/11/2015 _____

Fdo: Pablo Cortés Carrascón _____

Optimización de la estación potabilizadora de Ariza (Zaragoza)

Resumen

Este Trabajo Fin de Grado ha tratado de solucionar el problema que surge en la potabilización de aguas de pozo en la localidad de Ariza, ya que, a la salida de la planta, el agua tiene unos contenidos elevados de sulfatos, hierro y manganeso en disolución, además de una alta turbidez.

Para ello se han realizado ensayos de laboratorio en los que se trataba el agua bruta mediante coagulación – floculación, estudiando el uso de tres coagulantes comerciales, dos floculantes y otros reactivos como son cal y permanganato potásico. El objetivo de estos ensayos era determinar las condiciones óptimas, para reducir, en la medida de lo posible, la carga contaminante del agua potable y adecuar sus características a lo estipulado por el RD 140/2003.

Tras los ensayos se ha determinado que se debe usar por litro de agua de pozo las siguientes dosis y reactivos; 15 mL de sulfato de alúmina al 1%, 3,3 mL de polielectrolito aniónico Crossefloc A200 al 0,7% y 0,16 mL de permanganato potásico.

Con estas concentraciones se reduce la turbidez y las concentraciones de hierro, aluminio y manganeso por debajo de los límites establecidos por la normativa. Sin embargo no se consigue reducir la concentración de sulfatos que deberán ser eliminados por tratamiento de membranas (ya existente en la potabilizadora).

Finalmente se han trasladado estas dosis a la potabilizadora, calculándose los costes de reactivos que implicaría su utilización.

Agradecimientos

Quiero agradecer toda la documentación y apoyo facilitado al ayuntamiento de Ariza.

Quiero agradecer la ayuda proporcionada a Jesús Serrano Valios por las muestras proporcionadas de los reactivos para realizar los experimentos y sus respectivas explicaciones y a David Aguilar Bel, ya que fue la persona que me proporcionó toda la información requerida acerca de los precios de productos y aplicaciones.

Agradecer también al Servicio de Apoyo a la Investigación (SIA) de la Universidad de Zaragoza, al Laboratorio del Instituto Municipal de la Salud y al Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura, sobre todo a las dos técnicas, Pilar y Yolanda, por la ayuda proporcionada durante la elaboración de este trabajo.

Un agradecimiento especial a Eva Francés, directora de mi proyecto, por ayudarme a realizar este trabajo, por toda la información proporcionada y por guiarme, por segunda vez en un proyecto, de una manera excepcional.

Por último quiero agradecer especialmente a mi familia, sobre todo a mi padre, Jesús y a mi madre Marina, por tener paciencia conmigo por creer en mí y darme su apoyo.

ÍNDICE

1.	Antecedentes y objetivos.....	3
2.	Procedimiento experimental.....	4
2.1.	Características del agua bruta.....	4
2.2.	Equipos y reactivos.....	4
2.3.	Metodología.....	5
2.4.	Ensayos realizados.....	6
3.	Ensayos realizados.....	8
3.1.	Ensayos sin polielectrolito.....	9
3.1.1.	Efecto del tipo de coagulante.....	9
3.1.2.	Efecto de la mezcla de coagulantes.....	9
3.1.3.	Efecto del pH.....	10
3.2.	Ensayos con polielectrolito catiónico.....	11
3.2.1.	Efecto del pH y del tipo de coagulante.....	11
3.2.2.	Efecto de la dosis de polielectrolito en ambos coagulantes.....	13
3.2.3.	Efecto de la dosis de sulfato de alúmina.....	14
3.3.	Ensayos con polielectrolito aniónico.....	17
3.3.1.	Influencia de la concentración del polielectrolito.....	17
3.3.2.	Ensayos con polielectrolito al 0,7%.....	18
3.4.	Ensayos con permanganato potásico.....	19
3.5.	Ensayos de afino en la dosis de $Al_2(SO_4)_3$	22
3.6.	Conclusión de la parte experimental.....	24
4.	Escalado de los resultados a la ETAP.....	25
4.1.	Caudal.....	25
4.2.	Situación actual de la ETAP.....	26
4.3.	Tratamiento propuesto.....	26
4.4.	Recomendaciones.....	27
5.	Coste económico.....	28
6.	Bibliografía.....	29

6.1. Páginas web consultadas	29
6.2. Libros y artículos consultados.....	30
6.3. Proyectos fin de carrera consultados	30
6.4. Profesionales	30
6.5. Instituciones y organismos.....	30
ANEXOS.....	31
Anexo 1. POTABILIZADORA DE ARIZA.....	32
Anexo 2. MATERIAL Y REACTIVOS.....	36
Anexo 3. FICHAS DE SEGURIDAD	42
Anexo 4. PARTE EXPERIMENTAL.....	55
Anexo 5. CÁLCULOS EXPERIMENTALES.....	58
Anexo 6. POTABILIZACIÓN DE AGUAS	59
Anexo 7. MÉTODO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN	63

1. Antecedentes y objetivos

La localidad de Ariza, perteneciente a la provincia de Zaragoza (véase Anexo 4) está abastecida por el caudal de 5 pozos, de los cuales 4 de ellos no necesitan un tratamiento previo. El quinto pozo fue cedido en el 2003 por la Consejería de Agricultura de la DGA, ya que en los meses de verano había una gran escasez de agua en dicha población. Este quinto pozo sí que requiere potabilización, ya que el agua tiene unos contenidos elevados de sulfatos, hierro y manganeso en disolución, además de una alta turbidez. La descripción de la planta potabilizadora de este pozo se realiza en el Anexo 1 y se fundamenta en un tratamiento de ósmosis inversa que presenta, además de una falta de calidad del agua obtenida (Tabla 2.1), un alto consumo eléctrico y de mantenimiento del sistema.

Este proyecto trata de optimizar el proceso de potabilización de agua y para ello se plantea una solución atendiendo a criterios económicos.

Para ello se han realizado ensayos de laboratorio en los que se trataba el agua bruta mediante coagulación – floculación, estudiando el uso de tres coagulantes comerciales que son: sulfato de alúmina (1%), cloruro férrico (38%) y polydadmac (40%).

Se pretende determinar cuál es el coagulante óptimo para reducir la turbidez y el contenido de metales en el agua problema y en qué condiciones. Se estudiará el efecto del pH, el uso de polielectrolito, bien catiónico, bien aniónico con el objeto de mejorar la floculación y el uso de cal.

Una vez seleccionado el o los reactivos necesarios, se determinará la dosis óptima y se trasladarán dichas cantidades al diseño del proceso de potabilización, calculando el coste que ello implica.

2. Procedimiento experimental

2.1. Características del agua bruta

En la Tabla 2.1 aparece los datos del agua bruta y de los valores que indica la legislación que deben cumplirse a la salida de la potabilizadora¹

Tabla 2.1. Valores a la salida de, pozo de la ETAP y los que deben cumplirse a la salida

Parámetro	Salida pozo	Salida de la potabilizadora	RD 140/2003
pH	7,5	7,2	6-8
Conductividad	1.525 $\mu\text{S/cm}$	1.550 $\mu\text{S/cm}$	2.500 $\mu\text{S/cm}$
Turbidez	40 NTU	3,6 NTU	1 NTU
Aluminio	<50 $\mu\text{g/L}$	<50 $\mu\text{g/L}$	200 $\mu\text{g/L}$
Hierro	820 $\mu\text{g/L}$	350 $\mu\text{g/L}$	200 $\mu\text{g/L}$
Manganeso	440 $\mu\text{g/L}$	80 $\mu\text{g/L}$	50 $\mu\text{g/L}$
Sulfato	500 mg/L	300 mg/L	250 mg/L

Se observa que la problemática reside en el exceso de manganeso, sulfato y hierro en el agua, además de una excesiva turbidez.

2.2. Equipos y reactivos

El método seleccionado para eliminar la turbidez e iones en exceso es el de coagulación – floculación, descrito en el Anexo 7, de forma que se va a estudiar el efecto de utilizar tres coagulantes comerciales que son: sulfato de alúmina (1%), cloruro férrico (38%) y polydamac (40%). Las fichas de seguridad de estos compuestos se muestran en el Anexo 3. Además se ha estudiado el efecto del pH, mediante adición de cal (que también puede actuar como coagulante) y efecto del uso de dos polielectrolitos, uno catiónico (cuyo nombre comercial se desconoce) y otro aniónico (Crossefloc A200).

Los ensayos del presente Trabajo Fin de Grado se han llevado a cabo en un laboratorio del Departamento de Ingeniería Química y Tecnologías del Medio Ambiente en el edificio Betancourt de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura.

¹ Los valores paramétricos que se deben cumplir a la salida de la ETAP están indicados en el artículo 27.7. del Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero

Para el desarrollo de la experimentación se ha dispuesto un equipo de laboratorio "Jar-Test" provisto de 6 unidades de tratamiento simultáneo; más información del equipo y otros materiales y reactivos se detallan en el Anexo 2.

2.3. Metodología

El procedimiento general que se ha seguido es el siguiente:

- 1- Preparación de 3-6 vasos de precipitados (dependiendo del ensayo realizado) con 300 mL de agua de pozo.
- 2- Medida del pH inicial de las muestras.
- 3- Agitación enérgica (200 rpm) durante 2 minutos.
- 4- Adición del coagulante, cal y/o floculante, dependiendo del ensayo a realizar.
- 5- Agitación a 200 rpm durante 3 minutos y posteriormente a 40 rpm durante 15 minutos.
- 6- Reposo durante unos 10-15 minutos y observación de los flóculos formados (si procede).
- 7- Filtrado de las disoluciones obtenidas en el caso de la formación de flóculos.
- 8- Medida de la turbidez del agua, si procede. Esto se realiza si se aprecia la formación de flóculos y el agua está aparentemente clara.
- 9- Análisis de cationes y sulfatos, si procede. Esto se realiza si la turbidez está por debajo de 5 NTU.

Los parámetros de turbidez, pH y conductividad se han medido en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Las concentraciones de cationes (hierro, manganeso y aluminio) se han determinado en el Servicio de Apoyo a la Investigación (SIA) de la Universidad de Zaragoza mediante Espectrometría de Emisión Atómica en plasma ICP. La concentración de sulfatos se ha cuantificado en los laboratorios del Instituto Municipal de la Salud mediante volumetría.

En el apartado 2.4 se describen los ensayos realizados.

2.4. Ensayos realizados

Se han realizado un total de 79 ensayos en los que se han variado distintos parámetros como la dosis y tipo de coagulante, la dosis de polielectrolito y el pH, para observar los efectos que se producen.

Un resumen de los ensayos realizados y las variables estudiadas se muestra en las Tablas 2.2 y 2.3.

Tabla 2.2 Tipos de ensayos y variables estudiadas

Tipos de ensayos	Variables estudiadas	Apartado en la memoria	Ensayos nº
Ensayos sin polielectrolito	<ul style="list-style-type: none">• Tipo de coagulante• Mezcla de coagulantes• pH	3.1	1-15
Ensayos con polielectrolito catiónico	<ul style="list-style-type: none">• pH• Tipo de coagulante• Dosis de polielectrolito• Dosis de coagulante	3.2	16-49
Ensayos con polielectrolito aniónico	<ul style="list-style-type: none">• Concentración de polielectrolito• Dosis de polielectrolito• Dosis de coagulante	3.3	50-67
Ensayos con permanganato de potasio	<ul style="list-style-type: none">• Efecto del KMnO_4• Dosis de polielectrolito• Dosis de coagulante	3.4	68-73
Ensayos de afino	<ul style="list-style-type: none">• Dosis de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	3.5	74-79

Tabla 2.3. Resumen y numeración de los ensayos realizados (Las dosis están en mL/300 mL)

Ensayo nº	Coagulante 1 (C1)	Dosis C1	Coagulante 2 (C2)	Dosis C2	Polelectrolito (P)	Dosis P	Adición de Cal (pH)	Observaciones
Ensayos sin polielectrolito. Apartado 3.1.								
Variable estudiada: Tipo de coagulante.								
1	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		No		No	Reacción a pH 6
2	FeCl ₃	10	No		No		No	Reacción a pH 3
3	Polydadmac	10	No		No		No	Reacción a pH 6
Variable estudiada: Mezcla de coagulantes.								
4	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	Polydadmac	15	No		No	
5	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	Polydadmac	20	No		No	
6	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	Polydadmac	25	No		No	
7	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	Polydadmac	10	No		No	
8	Al ₂ (SO ₄) ₃	15	Polydadmac	10	No		No	
9	Al ₂ (SO ₄) ₃	20	Polydadmac	10	No		No	
Variable estudiada: pH.								
10	Polydadmac	10	No		No		Si (7)	
11	Polydadmac	10	No		No		Si (8,5)	
12	Polydadmac	10	No		No		Si (11)	
13	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		No		Si (7)	
14	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		No		Si (8,5)	
15	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		No		Si (11)	
Ensayos con polielectrolito catiónico. Apartado 3.2.								
Variable estudiada: pH y coagulante								
16	No		No		No		Si(11)	Sólo Cal
17	No		No		Si	10	Si(11)	
18	Polydadmac	10	No		No		Si(11)	
19	Polydadmac	10	No		Si	10	Si(11)	
20	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		No		Si(11)	
21	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		Si	10	Si(11)	
22	No		No		Si	10	Si(11)	Estudio de cal
23	Polydadmac	10	No		Si	10	Si(11)	Estudio de cal
24	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		Si	10	Si(11)	Estudio de cal
25	Polydadmac	10	No		Si	10	No	Estudio de cal
26	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		Si	10	No	Estudio de cal
Variable estudiada: dosis de polielectrolito								
27	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		Si	2,5	No	
28	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		Si	5	No	
29	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		Si	10	No	
30	Polydadmac	10	No		Si	2,5	No	
31	Polydadmac	10	No		Si	5	No	
32	Polydadmac	10	No		Si	10	No	
Variable estudiada: dosis de Al₂(SO₄)₃								
33	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		No		No	
34	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		No		Si (11)	
35	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		Si	5	Si (11)	
36	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		Si	5	No	
37	Al ₂ (SO ₄) ₃	7,5	No		Si	5	No	
38	Al ₂ (SO ₄) ₃	5	No		Si	5	No	

Tabla 2.3. Cont. Resumen y numeración de los ensayos realizados (Las dosis están en mL/300 mL)

Ensayo nº	Coagulante 1 (C1)	Dosis C1	Coagulante 2 (C2)	Dosis C2	Polielectrolito (P)	Dosis P	Adición de Cal (pH)	Observaciones
39	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		Si	5	No	
40	Al ₂ (SO ₄) ₃	8,75	No		Si	5	No	
41	Al ₂ (SO ₄) ₃	7,25	No		Si	5	No	
42	Al ₂ (SO ₄) ₃	6,25	No		Si	5	No	
43	Al ₂ (SO ₄) ₃	5	No		Si	5	No	
44	Al ₂ (SO ₄) ₃	5,5	No		Si	5	No	
45	Al ₂ (SO ₄) ₃	6	No		Si	5	No	
46	Al ₂ (SO ₄) ₃	6,5	No		Si	5	No	
47	Al ₂ (SO ₄) ₃	7	No		Si	5	No	
48	Al ₂ (SO ₄) ₃	7,5	No		Si	5	No	
49	Al ₂ (SO ₄) ₃	8	No		Si	5	No	
Ensayos con polielectrolito aniónico: Apartado 3.3.								
Variable estudiada: dosis de Al₂(SO₄)₃ y de polielectrolito (1 %)								
50	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		Si	5	No	
51	Al ₂ (SO ₄) ₃	15	No		Si	5	No	
52	Al ₂ (SO ₄) ₃	20	No		Si	5	No	
53	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		Si	3	No	
54	Al ₂ (SO ₄) ₃	15	No		Si	3	No	
55	Al ₂ (SO ₄) ₃	20	No		Si	3	No	
Variable estudiada: dosis de Al₂(SO₄)₃ y de polielectrolito (0,7 %).								
56	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		Si	5	No	
57	Al ₂ (SO ₄) ₃	15	No		Si	5	No	
58	Al ₂ (SO ₄) ₃	20	No		Si	5	No	
59	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		Si	3	No	
60	Al ₂ (SO ₄) ₃	15	No		Si	3	No	
61	Al ₂ (SO ₄) ₃	20	No		Si	3	No	
Ensayos con permanganato: Apartado 3.4.								
62	Al ₂ (SO ₄) ₃	7	No		Si	5		0,05 mL de KMnO ₄
63	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		Si	5		0,05 mL de KMnO ₄
64	No		No		Si	5		0,05 mL de KMnO ₄
65	Al ₂ (SO ₄) ₃	10	No		No			0,05 mL de KMnO ₄
66	Al ₂ (SO ₄) ₃	7	No		Si	1		0,05 mL de KMnO ₄
67	Al ₂ (SO ₄) ₃	7	No		Si	3		0,05 mL de KMnO ₄
Ensayos de afino: Apartado 3.5.								
68	Al ₂ (SO ₄) ₃	4,5	No		Si	5		0,05 mL de KMnO ₄
69	Al ₂ (SO ₄) ₃	5	No		Si	5		0,05 mL de KMnO ₄
70	Al ₂ (SO ₄) ₃	5,5	No		Si	5		0,05 mL de KMnO ₄
71	Al ₂ (SO ₄) ₃	6	No		Si	5		0,05 mL de KMnO ₄
72	Al ₂ (SO ₄) ₃	6,5	No		Si	5		0,05 mL de KMnO ₄
73	Al ₂ (SO ₄) ₃	7	No		Si	5		0,05 mL de KMnO ₄

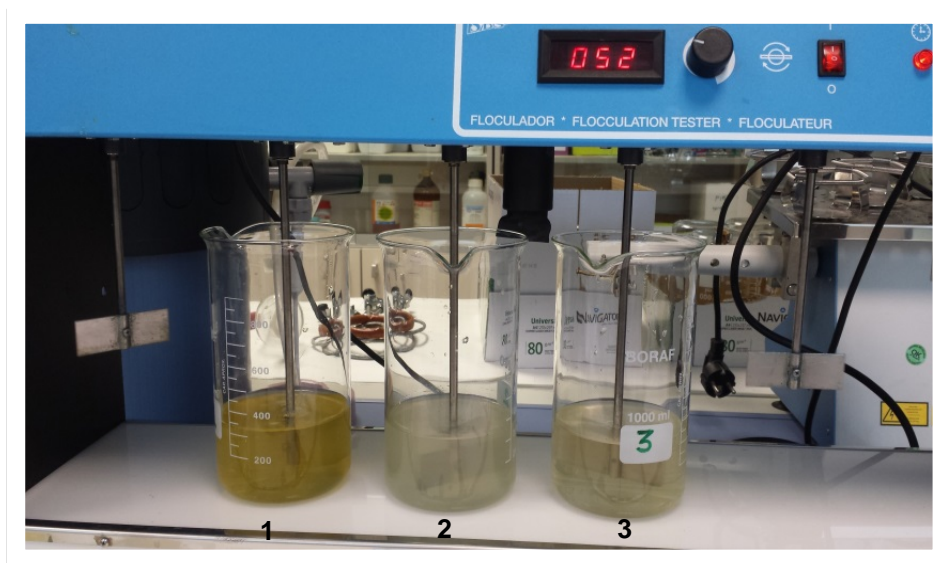
3. Ensayos realizados

3.1. Ensayos sin polielectrolito

Se han realizado unos ensayos previos, en los que no se ha adicionado polielectrolito, para estudiar el comportamiento de los tres coagulantes estudiados en distintas condiciones, de forma que se ha estudiado el efecto del tipo de coagulante, como se comportan al mezclarse y cuál es la influencia del pH.

3.1.1. Efecto del tipo de coagulante

En los ensayos 1 a 3 se ha estudiado el efecto del tipo de coagulante por separado (véase Tabla 2.3). No se ha añadido ni cal ni polielectrolito, y se sigue el procedimiento descrito en el Apartado 2.3 observándose los resultados que aparecen en la Figura 3.1. En dicha figura se aprecia que no se producen precipitados, y en el caso de FeCl_3 (vaso 1) se produce un incremento de color y turbidez debido a la adición de Fe^{3+} . Por lo que en este primer ensayo se descarta el uso del coagulante de FeCl_3 .



3.1.2. Efecto de la mezcla de coagulantes.

Se decide estudiar el efecto de la mezcla de los dos coagulantes estudiados (sulfato de alúmina y polydadmac). Se ha variado la dosis de los mismos por separado entre 10 y 25 mL por cada 300 ML de muestra. Los ensayos a realizar son los numerados desde el 4 al 9 en la Tabla 2.3



Figura 3.2. Disoluciones de sulfato de alúmina y polydadmac.

No se produce coagulación en ninguno de los casos, como se aprecia en la Figura 3.2, por lo que esta opción queda descartada.

3.1.3. Efecto del pH

Los coagulantes utilizados en el Apartado 3.1.1 acidificaban la disolución de forma que después de añadir el coagulante dichas soluciones tenían un pH entre 3 (FeCl_3) y 6 (Polydadmac).

En los ensayos nº 10 al 15 se ha estudiado la influencia del pH añadiendo cal hasta que las disoluciones alcanzasen un pH de 7, 8,5 u 11. Posteriormente se añadió 10 mL de uno u otro coagulante ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ o Polydadmac) a cada una de las muestras. Los resultados obtenidos para el caso de la utilización de Polydadmac se aprecian en la Figura 3.3 y para el uso de sulfato de alúmina se muestran en la Figura 3.4. En ambas figuras el pH óptimo encontrado fue el de 11, ya que se obtiene un agua algo más clara.

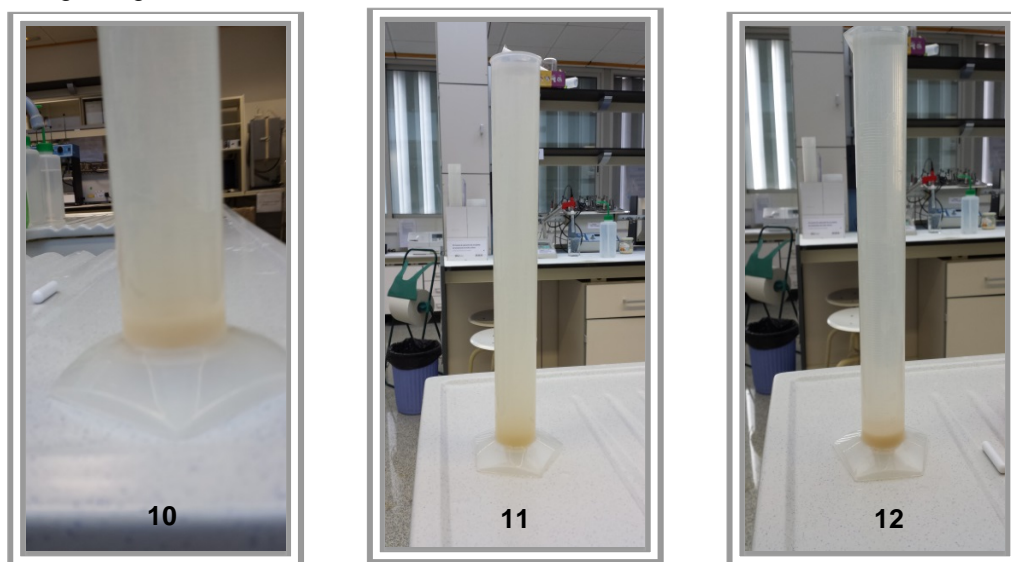


Figura 3.3. Variación del efecto del pH con Polydadmac y cal (pH 7, 8'5 y 11 respectivamente).

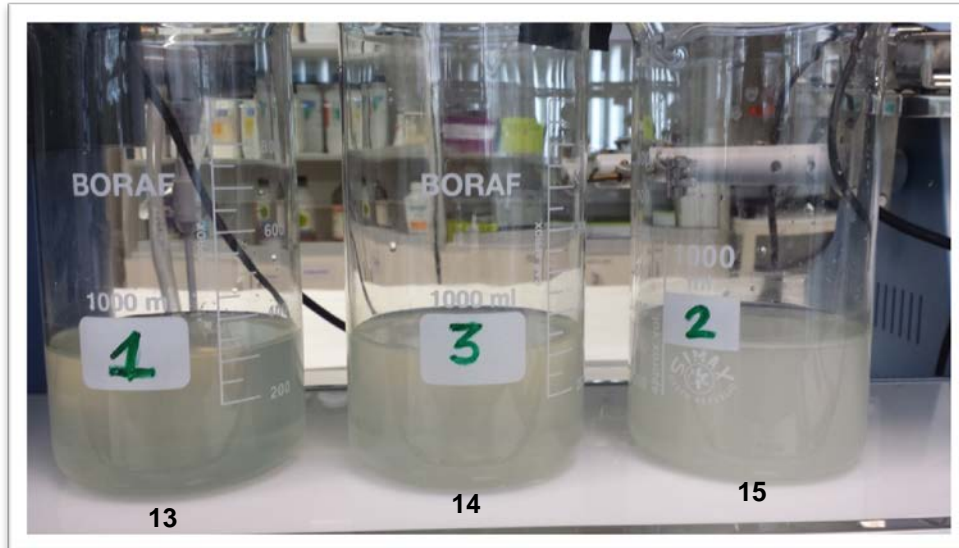


Figura 3.4. Variación del efecto del pH con sulfato de alúmina y cal (pH 7, 8,5 y 11 respectivamente).

3.2. Ensayos con polielectrolito catiónico

3.2.1. Efecto del pH y del tipo de coagulante

Con el objeto de ver si la adición de polielectrolito catiónico (concentración de 0,7%) aumentaba el tamaño de los flóculos formados, se han realizado los ensayos números 16-21, en todos ellos añadiendo cal para llevarlo a pH 11.

Como se puede apreciar en la Figura 3.5 se producían flóculos compactos en los casos número 17 (polielectrolito con cal) y 21 (polielectrolito, cal y sulfato de alúmina). En el ensayo 19, al usar polydadmac y polielectrolito, la consistencia de los flóculos era menor, siendo éstos de tipo filamentoso.



Figura 3.5. Ensayos con diversas combinación de coagulante y polielectrolito con cal.

Para apreciar el efecto de la adición de cal en el caso de utilizar polielectrolito, se realiza un nuevo conjunto de ensayos (22 a 26), de forma que en todos ellos se les añadió 10 mL de polielectrolito. Así en las muestras 22, 23 y 24 se les puso cal hasta alcanzar pH 11, mientras que en las dos últimas (25 y 26) no se agregó cal y como consecuencia no se modificó el pH de partida. Además del efecto de la cal, se estudia el efecto del tipo de coagulante, pues unos ensayos tienen sulfato de alúmina (24 y 26) y otros polyadmac (23 y 25).

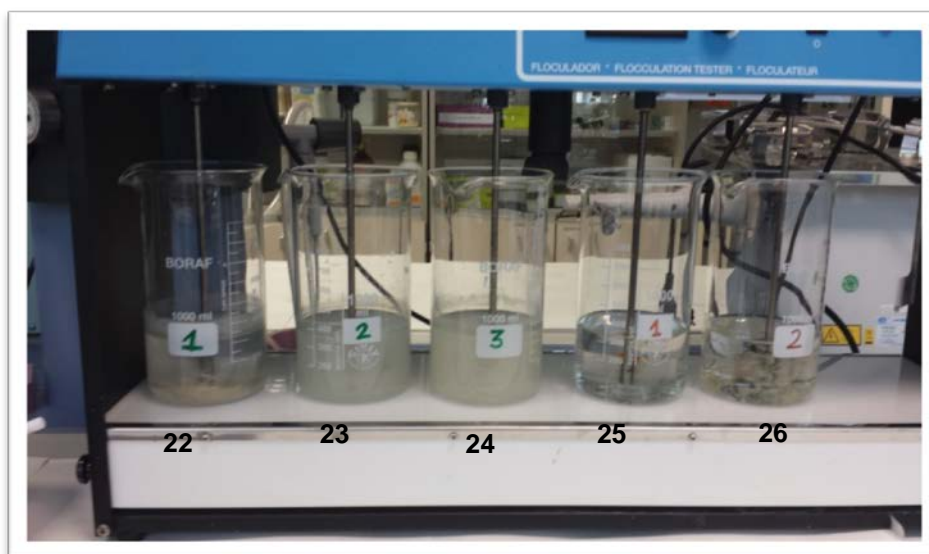


Figura 3.6. Ensayos con diversas combinaciones de coagulante con polielectrolito y cal.

En la Figura 3.6 se aprecia como en las muestras que no contienen cal se forma un flóculo de tamaño considerable (números 25 y 26) y en un tiempo relativamente corto. En la muestra número 22 que contiene cal y polielectrolito también se forma flóculo, pero de menor tamaño y en un tiempo superior. En el resto de los casos apenas se forma precipitados y los que aparecen tienen una consistencia y aspecto similar al de flóculos filamentosos. En vista de estos resultados, se decide prescindir de la cal, de forma que se utilizará exclusivamente coagulante y floculante (polielectrolito).

3.2.2. Efecto de la dosis de polielectrolito en ambos coagulantes

Una vez que se ha determinado la no necesidad de utilización de cal, se pasa a estudiar el efecto de la dosis de polielectrolito en los dos coagulantes seleccionados (sulfato de alúmina y polydadmac).

La dosis de polielectrolito se varía entre 2,5 y 10 mL por cada 300 mL de agua bruta.

Los ensayos son los números 27 a 29 para sulfato de alúmina y 30 a 32 para polydadmac. Los resultados se muestran en las Figuras 3.7 y 3.8. En estas figuras se observa que en las disoluciones con sulfato de alúmina, el flóculo se forma más rápidamente y es de mayor tamaño que en las disoluciones de polydadmac, además el agua con polydadmac tiene turbidez remanente, por lo que se selecciona sulfato de alúmina como coagulante.

Una vez decidido el coagulante se apreció que a bajas dosis de polielectrolito (2,5 mL/300 mL de agua), el flóculo formado es muy pequeño y permanece en suspensión, descartando dicha cantidad. Comparando las muestras con una dosis mayor, se aprecia que el flóculo formado es semejante, por lo que se selecciona la dosis menor de ambas (5 mL/ 300 mL de agua).

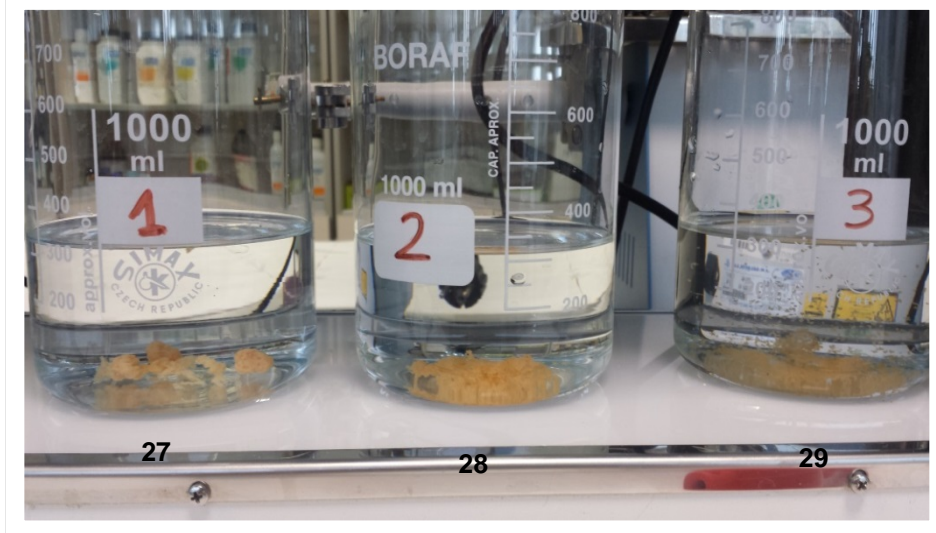


Figura 3.7. Disoluciones de sulfato de alúmina con diversas dosis de polielectrolito.

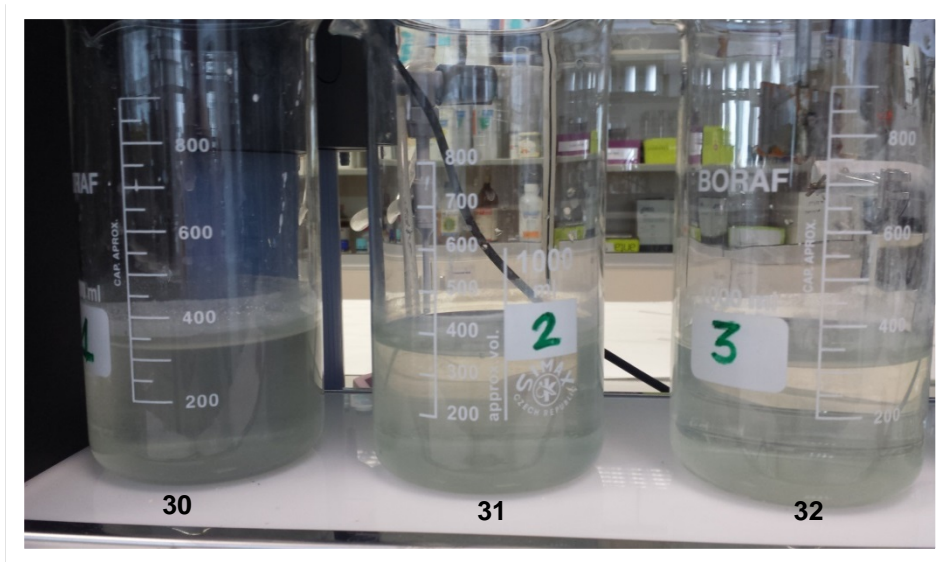


Figura 3.8. Disoluciones de polyadmac con diversas dosis de polielectrolito.

Como se observa en las Figuras 3.7 y 3.8 con la utilización de polielectrolito sólo se forma precipitado con el sulfato de alúmina.

3.2.3. Efecto de la dosis de sulfato de alúmina

Determinado cual es el coagulante mejor de los estudiados ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y la dosis óptima de polielectrolito (5 mL/ 300 mL de agua), se procede a estudiar la influencia de la dosis de dicho coagulante, variando la misma en un principio a grosso modo (ensayos 36 a 38, desde 5 mL a 10 mL por cada 300 mL) y posteriormente a unos intervalos más pequeños (ensayos 39 a 43, véase Tabla 2.3)). Los resultados se pueden ver en las Figuras 3.9 y 3.10 Tras estos ensayos se observa que la dosis apropiada está entre 5 y 7'5 mL, ya que los flóculos formados son de mayor tamaño.

Simultáneamente y a modo de comprobación se realizan dos ensayos (34 y 35) añadiendo cal hasta pH 11. Estos resultados se comparan con el ensayo número 33 en el que sólo se utiliza sulfato de alúmina (es decir sin polielectrolito ni cal). Los resultados se aprecian en la Figura 3.9, ratificando que la utilización de cal (muestras 34 y 35) perjudica el proceso.

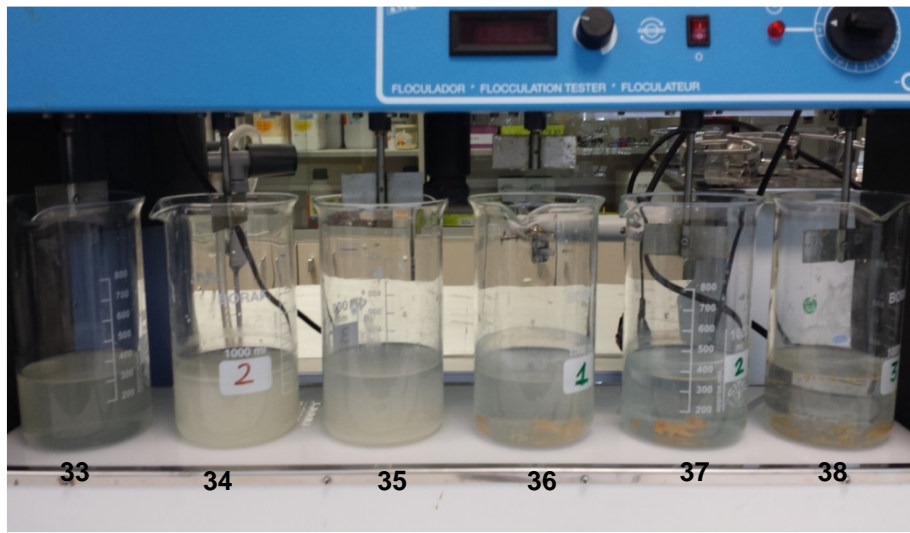


Figura 3.9. Variación de la dosis de sulfato de alúmina con 5 mL de polielectrolito.

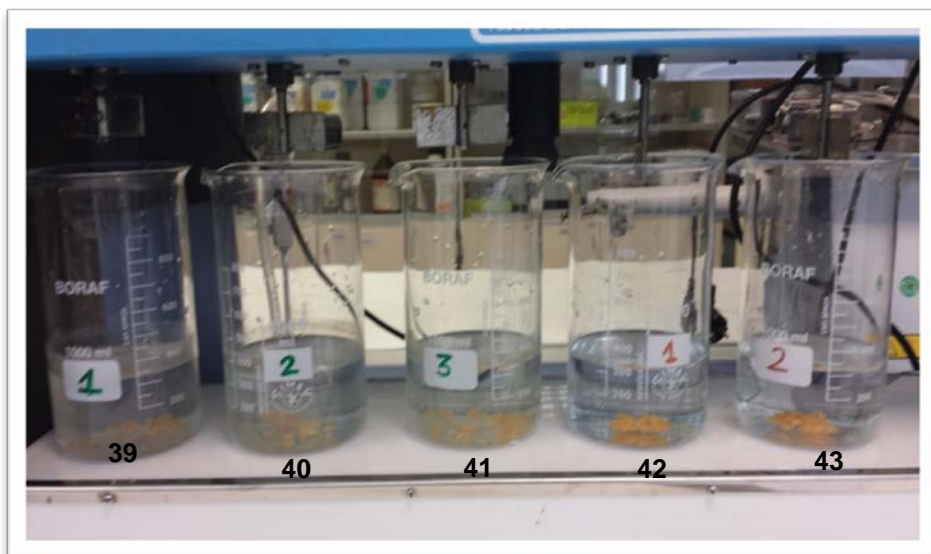


Figura 3.10. Variación de la dosis de sulfato de alúmina con 5 mL de polielectrolito.

Una vez determinado un primer intervalo de decide volver a realizar otro ensayo como comprobación, para ello se preparan 6 disoluciones con 5 mL de polielectrolito y distintas dosis de sulfato de alúmina comprendidas entre 5'50 mL y 8 mL (ensayos 44-49).

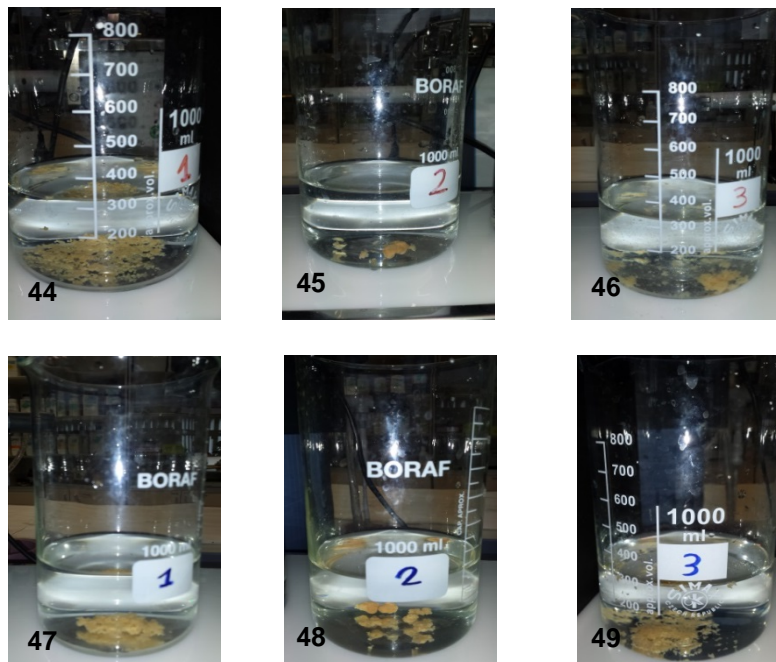


Figura 3.11. Disoluciones de sulfato de Al_2O_3 .

En la Figura 3.11 se aprecia que en todas las muestras se han formado flóculos. Siendo las 4 muestras centrales (entre 6 y 7,5 mL) aquellas en las que se han formado los flóculos de mayor tamaño.

Debido a que a simple vista no se puede discernir cual es el agua más clara, se procede a medir la turbidez final de la disolución, una vez decantada, en el caso de las muestras en las que se ha apreciado una mayor coagulación

Los resultados, que se muestran en la Tabla 3.1 y en la Figura 3.12, no son del todo satisfactorios ya que la turbidez debería ser inferior a 1 NTU para ser utilizada como agua potable. Como consecuencia los reactivos utilizados no son adecuados y se decide estudiar otro polielectrolito.

Tabla 3.1. Variación de la turbidez

Muestra	Dosis sulfato de Al_2O_3 (mL)	Turbidez (NTU)
39	6	1,57
40	6,5	1,47
41	7	1,29
42	7,5	1,47

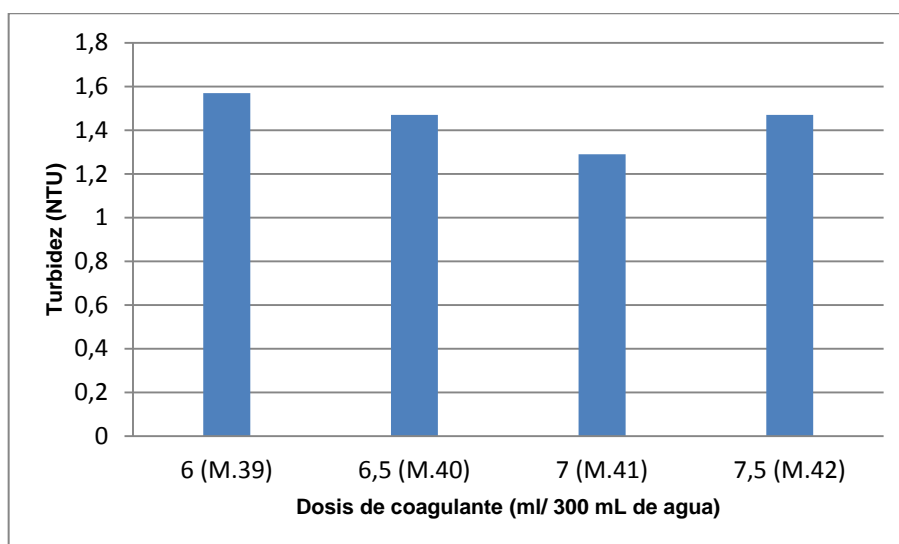


Figura 3.12. Variación de la turbidez en función de la dosis de sulfato de alúmina

3.3. Ensayos con polielectrolito aniónico

Debido a que no se alcanzaban los valores de turbidez marcados por el RD 140/2003, se decidió probar un polielectrolito aniónico comercial, por lo que se contactó con la casa Kemira para obtener información acerca del polielectrolito aniónico Crossefloc A200 y para su correcta utilización. La casa comercial recomendaba preparar dicho polielectrolito en una disolución al 1% en masa.

Al cambiar el polielectrolito se repitieron los ensayos realizados en capítulos anteriores con el objeto de confirmar que las condiciones óptimas de utilización fueran similares, es decir, se debe trabajar a pH neutros y con sulfato de alúmina como coagulante. Más información de dichos ensayos se muestra en el Anexo 4.

3.3.1. Influencia de la concentración del polielectrolito

Como se ha indicado, la casa comercial recomendaba utilizar el polielectrolito en una concentración del 1 %, de forma que con esta concentración se realizaron varios ensayos variando la dosis de floculante y coagulante. Así, se prepararon 3 muestras (Figura 3.13a) con 5 mL de polielectrolito y entre 10 y 20 mL de sulfato de alúmina (ensayos 50-52). Simultáneamente se prepararon otras 3 muestras (Figura 3.13b) con 3 mL de polielectrolito y entre 10 y 20 mL de sulfato de alúmina (ensayos 53-55).

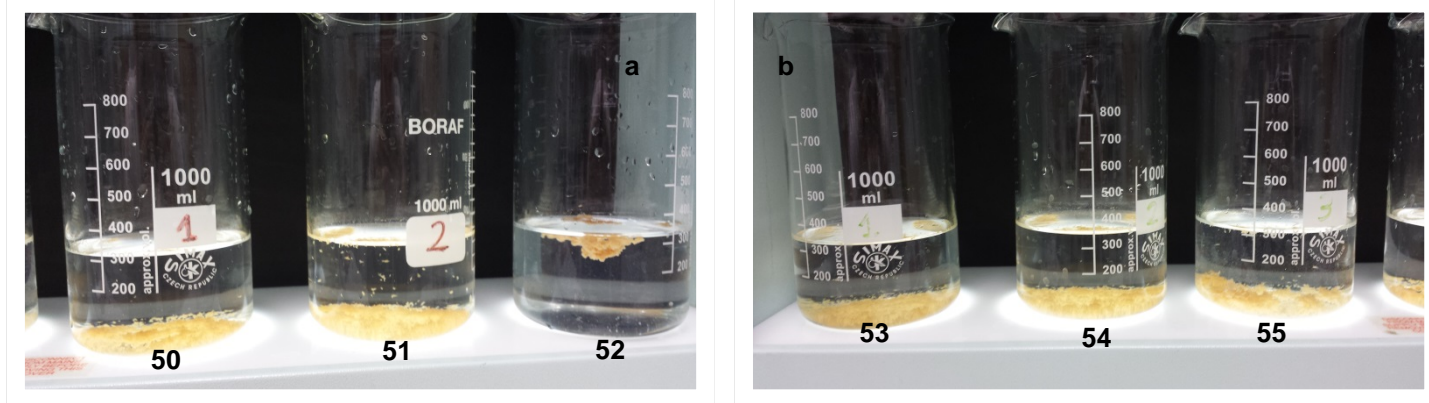


Figura 3.13. Disoluciones de sulfato de alúmina y polielectrolito aniónico Crossefloc A200 5mL (a) y 3 mL (b)

En todos los casos se produce coagulación, especialmente en los ensayos 50, 52 y 53, por lo que se procede a realizar la medida de turbidez y de los iones más representativos, obteniéndose los resultados mostrados en Tabla 3.2. En dicha tabla se aprecia que ninguna de las muestras alcanza los objetivos marcados de turbidez, por lo que se decide probar con una nueva concentración de polielectrolito, rebajándola al 0,7 % que era la usada para el polielectrolito catiónico usado en el Apartado 3.2.

Tabla 3.2. Parámetros obtenidos para las muestras con polielectrolito aniónico (1%)

Muestra	pH	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Turbidez (NTU)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)
58	6,3	1.770	3,05	0,048	0,442	0,212	596
60	6,07	1.711	2,5	0,076	0,439	1,903	702
61	6,46	1.740	2,9	0,061	0,435	0,278	631

3.3.2. Ensayos con polielectrolito al 0,7%

No alcanzándose los objetivos planteados, se repiten los ensayos realizados en el apartado anterior pero con una concentración de polielectrolito inferior (0,7%). De esta forma, se preparan 3 muestras (Figura 3.14a) con 5 mL de polielectrolito y entre 10 y 20 mL de sulfato de alúmina (muestras 56-58). Simultáneamente se preparan otras 3 muestras (Figura 3.14b) con 3 mL de polielectrolito y entre 10 y 20 mL de sulfato de alúmina (muestras 59-61).

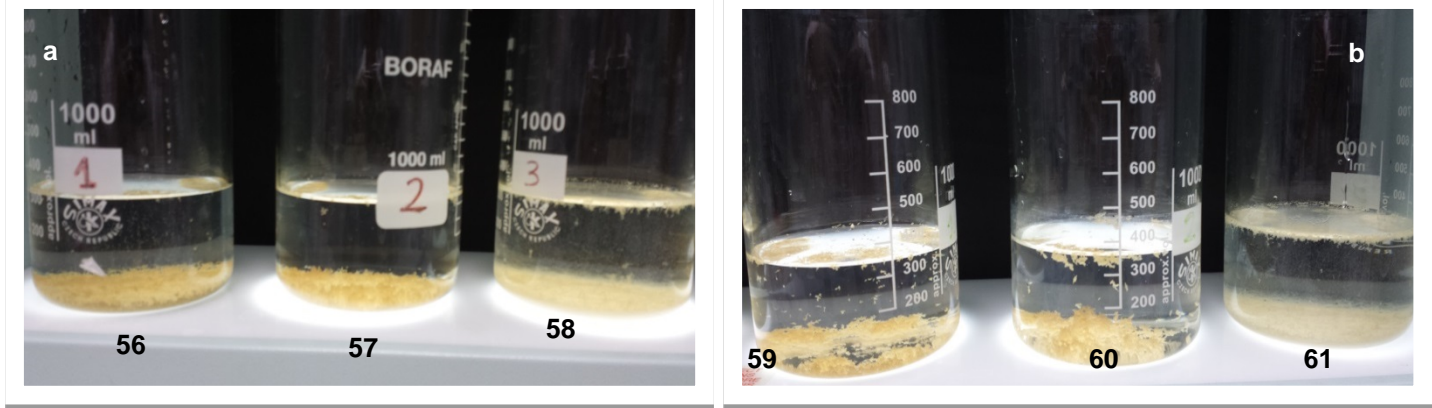


Figura 3.14. Disoluciones de sulfato de alúmina y polielectrolito aniónico Crosseffloc A200 5mL (a) y 3 mL (b)

Se observa que en todos los casos se produce coagulación y se seleccionan las muestras 56 y 59 para su caracterización, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 3.3. En esta tabla se aprecia como la muestra número 59 cumple el objetivo marcado para la turbidez (< 1NTU) y concentración de hierro, sin embargo, los valores de aluminio, manganeso y hierro son superiores a los marcados por la normativa (véase Tabla 2.1)

Tabla 3.3. Parámetros obtenidos para los ensayos con polielectrolito aniónico (0,7%)

Muestra	pH	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Turbidez (NTU)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)	SO_4^{2-} (mg/L)
56	6,31	1.610	2,49	0,073	0,438	0,723	577
59	6,27	1.681	0,67	0,179	0,407	1,587	608

Se han realizado otros ensayos similares a modo de comprobación comparando las mismas dosis de reactivos para las dos concentraciones de polielectrolito, obteniéndose resultados similares que se muestran en el Anexo 4.

3.4. Ensayos con permanganato potásico

Debido a la imposibilidad de eliminar el manganeso por coagulación se decide adicionar permanganato potásico (KMnO_4) para la precipitación red-ox de Mn^{2+} para formar MnO_2 , para ello se han realizado los cálculos para determinar la cantidad exacta que hay que añadir de permanganato para eliminar la cantidad de manganeso que se quiere eliminar. Estos cálculos se muestran en el Anexo 5, necesitándose 0,05 mL por cada 300 mL de agua bruta de permanganato potásico 0,03M.

En esta serie de ensayos (nº 62 a 67) se adiciona simultáneamente permanganato en la dosis calculada, variando las dosis de polielectrolito y sulfato de alúmina con las que se han ido probando a lo largo de todo el estudio (Figura 3.15):

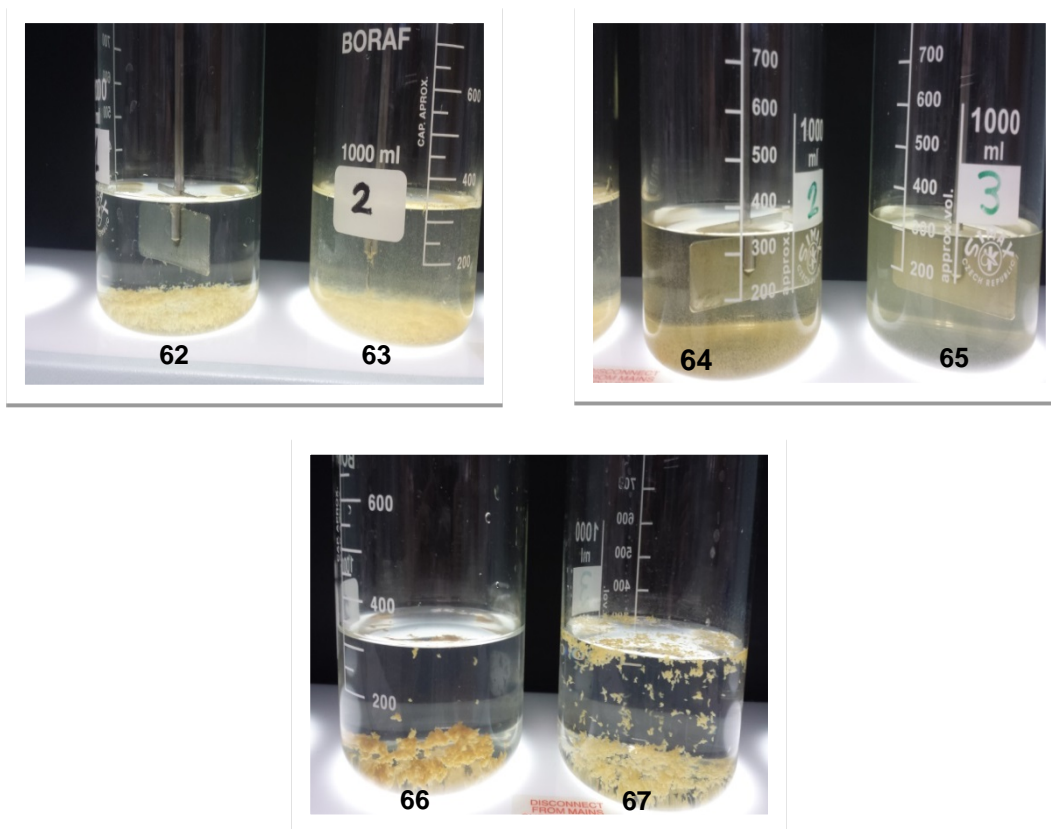


Figura 3.15. Disoluciones de polielectrolito aniónico Crosseffloc A200 y sulfato de alúmina y permanganato potásico.

En este ensayo se seleccionan, las muestras 62, 63, 66 y 67 cuya caracterización se muestra en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Parámetros obtenidos en los ensayos con permanganato/sulfato de alúmina y floculante aniónico (0,7%)

Muestra	pH	Conductividad	Turbidez	Fe(mg/L)	Mn(mg/L) ²	Al(mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
62	6,41	1.687	2,29	0,061	0,086	0,62	631
63	6,41	1.666	3,26	0,164	0,052	4,728	702
66	6,30	1.682	0,48	0,066	< MCD	0,211	539
67	6,22	1.668	2,11	0,066	0,056	0,736	600

En la Figura 3.16 se muestra como para la misma dosis de sulfato de alúmina (7 mL / 300 mL) y permanganato, la turbidez disminuye con la dosis de polielectrolito, por lo que interesa trabajar a dosis bajas del mismo. La variación de la concentración residual de cationes, en función de la dosis de polielectrolito, se aprecia en la Figura 3.17. Con respecto a la concentración de sulfato no se reduce en absoluto, sino que por el contrario se incrementa al utilizar Al₂(SO₄)₃.

² MCD del Espectrómetro de Emisión Atómica en plasma ICP para el Mn = 0,016 mg/L

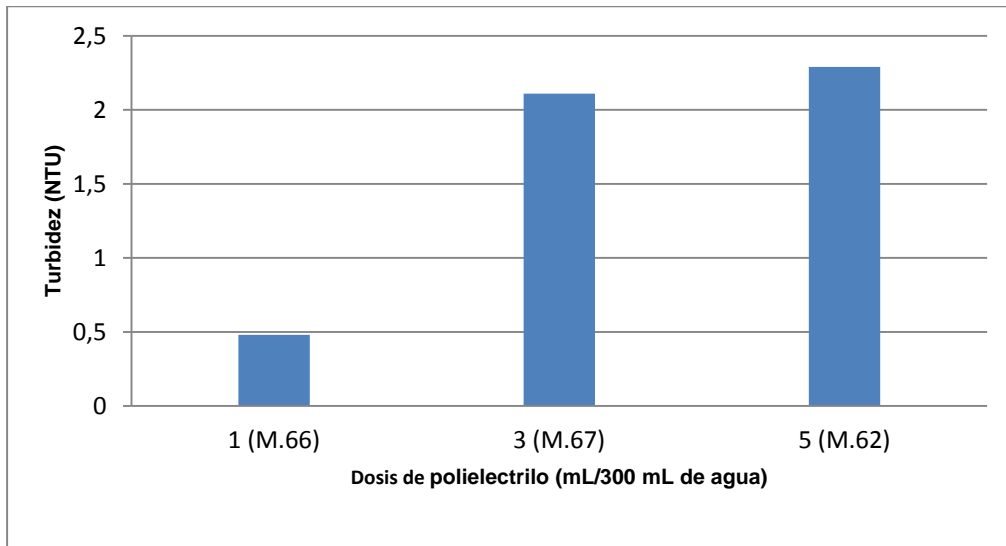


Figura 3.16. Turbidez residual de los ensayos frente a la dosis de polielectrolito.

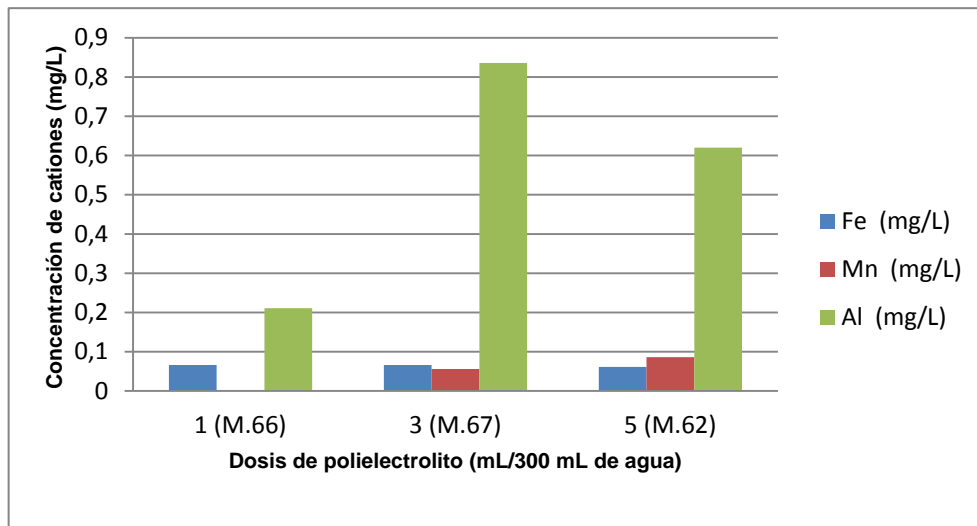


Figura 3.17. Concentración de cationes en las muestras para distintas dosis de polielectrolito.

En todas las muestras analizadas se aprecia que la concentración de manganeso se consigue reducir notablemente, obteniéndose los mejores resultados para la muestra 66, en la que se ha usado las siguientes cantidades de reactivos por cada 300 mL de agua bruta: 0,05 mL de permanganato potásico, 7 mL de sulfato de alúmina y 1 mL de floculante aniónico al 0,7%. En estas condiciones se alcanzan en gran medida los objetivos planteados de reducción de carga contaminante, a excepción de la concentración de aluminio y de sulfatos.

La concentración de sulfatos, según la literatura, es imposible reducir por coagulación, mientras que para poderlo eliminar por precipitación se tienen que usar sales de bario, no permitidas en potabilización de aguas. Como consecuencia se renuncia a intentar eliminarlo en esta investigación (pudiéndose eliminar mediante el uso de membranas de osmosis inversa o nanofiltración), y como consecuencia el siguiente apartado se centra en ajustar la dosis de sulfato de alúmina, origen de las altas cantidades de aluminio en el agua residual.

3.5. Ensayos de afino en la dosis de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Debido a las altas concentraciones residuales de aluminio en las muestras (Tabla 3.4), se ve la necesidad de reducir su fuente, es decir la cantidad de sulfato de alumina usado como coagulante. Para ello se realizan los ensayos nº 68-73 variando la dosis de sulfato de alumina desde 4,5 a 7 mL por cada 300mL de agua bruta. Las dosis del resto de los reactivos se mantienen constantes, es decir, 0,05 mL de permanganato potásico y 1 mL de polielectrolito aniónico.

En las Figuras 3.18 y 3.19 se observan dichos ensayos. Por otros lados, en la Tabla 3.5 aparece reflejada la turbidez de las muestras y además, para las muestras que presenten con una turbidez menos de 1 NTU, se refleja la concentración de iones de hierro, manganeso y aluminio.

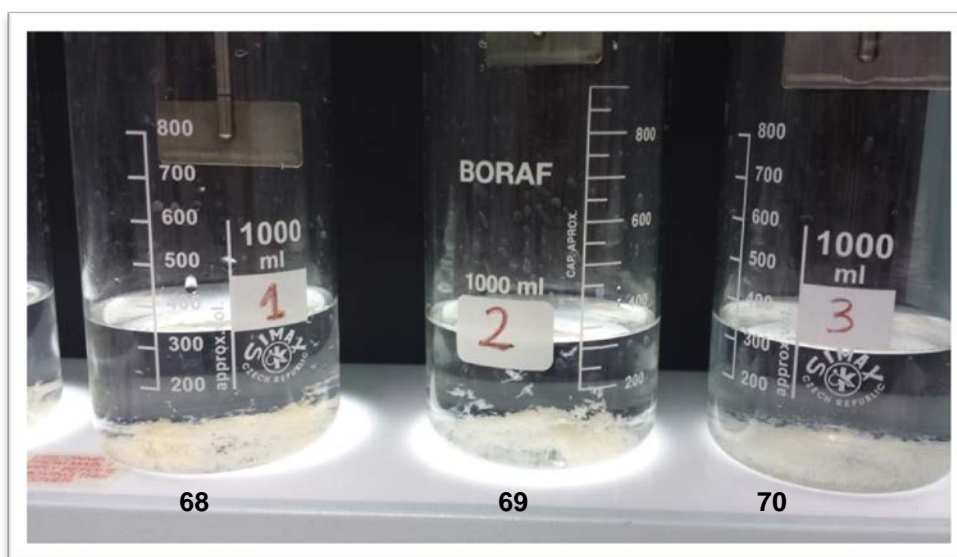


Figura 3.18 Disoluciones de sulfato de alumina, polielectrolito y permanganato potásico

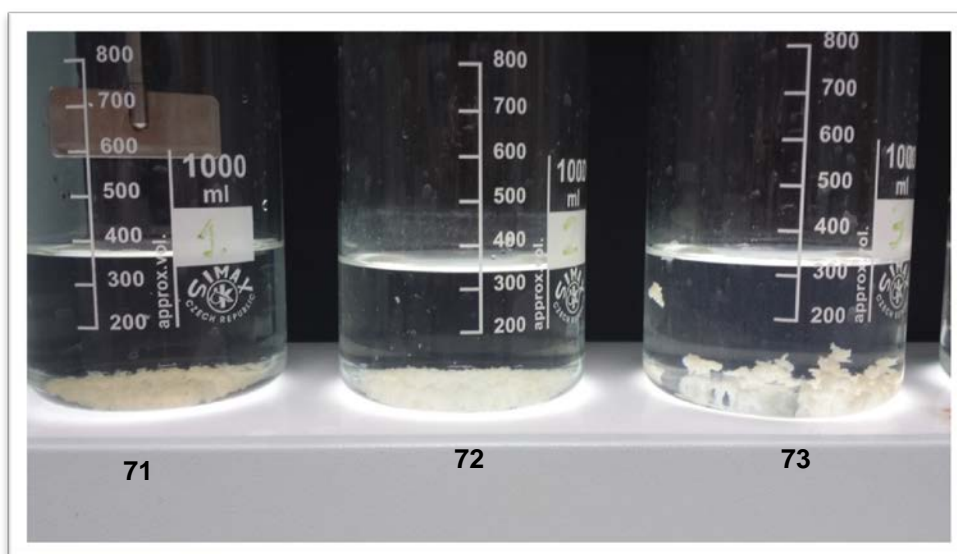


Figura 3.19 Disoluciones de sulfato de alumina, polielectrolito y permanganato potásico.

Tabla 3.5. Muestra seleccionadas para analítica.

Muestra	pH	Conductividad	Turbidez	Fe(mg/L) ³	Mn(mg/L) ⁴	Al(mg/L) ⁵
68	6,83	1.680	0,94	<MCD	<MCD	<MCD
69	6,68	1.685	0,43	<MCD	<MCD	<MCD
70	6,61	1.670	1,13	—	—	—
71	6,58	1.672	0,66	<MCD	<MCD	<MCD
72	6,51	1.689	1,13	—	—	—
73	6,40	1.670	0,76	0,063	<MCD	<MCD

En la Figura 3.20 se refleja la influencia de la dosis de coagulante en la turbidez. Con respecto a los metales, todas las concentraciones se encuentran por debajo del límite establecido por el RD 140/2003.

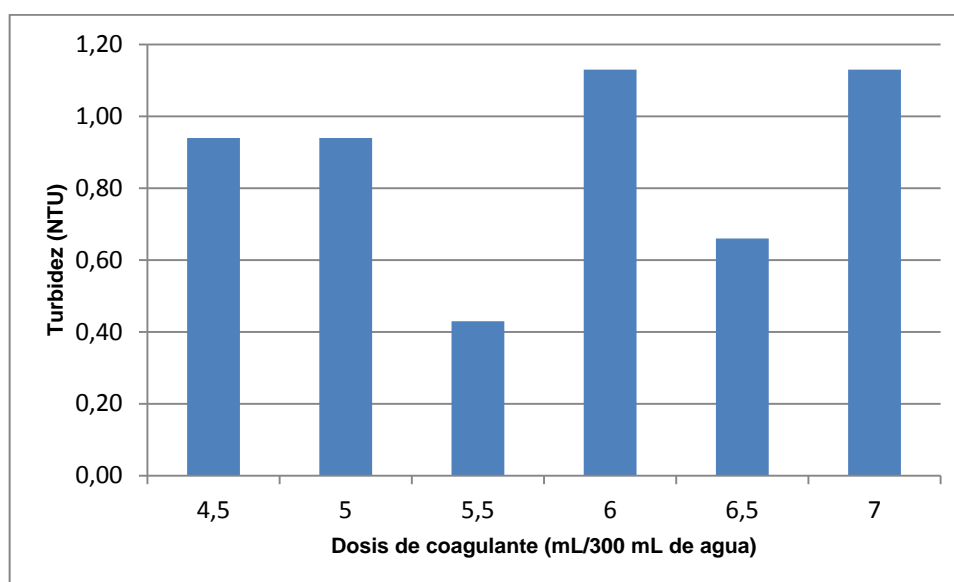


Figura 3.20. Variación de la turbidez con la dosis de sulfato de alúmina

Se decide en función de los resultados obtenidos que la dosis correcta sean **4,5 mL de sulfato de alúmina, 1mL de polielectrolito aniónico Crossefloc A200 y 0,05 mL de permanganato potásico** por cada 300 mL.

³ MCD del Espectrómetro de Emisión Atómica en plasma ICP para el Fe = 0,061 mg/L.

⁴ MCD del Espectrómetro de Emisión Atómica en plasma ICP para el Mn = 0,016 mg/L.

⁵ MCD del Espectrómetro de Emisión Atómica en plasma ICP para el Al = 0,111 mg/L.

3.6 Conclusión de la parte experimental.

Se decide que para una muestra de 1 litro la cantidad de coagulante a añadir debe ser 15 mL de sulfato de alúmina al 1% 3,3 mL de polielectrolito aniónico Crossefloc A200 al 0,7% y 0,16 mL de permanganato potásico. Desestimándose el resto de coagulantes y la adición de cal por los siguientes motivos:

- 1- Flóculos demasiado pequeños o de poca consistencia.
- 2- Flóculos no decantables y que permanecen en suspensión.
- 3- Sin formación de flóculos.
- 4- Turbidez superior a la permitida por el RD 140/2003.
- 5- Concentraciones de metales por encima del límite permitido por el RD 140/2003.

Con estas concentraciones se reduce la turbidez y las concentraciones de hierro, aluminio y manganeso por debajo de los límites establecidos por la normativa. Sin embargo no se consigue reducir la concentración de sulfatos que deberán ser eliminados por tratamiento de membranas.

4. Escalado de los resultados a la ETAP

4.1. Caudal

Se decide utilizar el caudal estipulado en el proyecto inicial de la ETAP⁶ por lo que se establece un caudal para una población de 2.000 habitantes suponiendo este de 500 m³/día. Se fija este caudal dado que la población de Ariza aumenta en los meses estivales. En la Tabla 4.1 aparece reflejada la dosis que se deben añadir de cada producto por litro y su valor en el caudal máximo⁷.

Tabla 4.1. Dosis de productos

Producto	Dosis por litro (mL)	Dosis para 500 m ³ /día (L)
Sulfato de alúmina (50%)	0,3	145
Polielectrolito Crossefloc A200 (7%)	0,33	165
Permanganato de potasio (0,03M)	0,165	82,5

Se han planteado dos posibles opciones de potabilización (en el Anexos 6 se habla de los distintos tipos de ETAP), estos son:

- Opción 1: El agua entra a la estación potabilizadora y se trata con permanganato de potasio, polielectrolito y sulfato de alúmina, posteriormente pasa por el sistema de osmosis inversa y finalmente se clora.
- Opción 2: El agua entra a la estación potabilizadora y se trata con permanganato de potasio, posteriormente pasa por el sistema de ósmosis inversa y antes de clorarla se trata con sulfato de aluminio y polielectrolito

La segunda opción se descartó ya que el agua entraba con una concentración de hierro demasiada alta para poder ser tratada en el sistema de osmosis inversa, ya que provocaría un mal funcionamiento de las membranas deteriorándolas.

⁶ EL proyecto inicial realiza un estudio de población en el que se tiene en cuenta la ganadería. En este proyecto se elimina el caudal necesario para la actividad ganadera

⁷ En el anexo 6 aparecen los cálculos de las cantidades que se deben añadir.

4.2. Situación actual de la ETAP

El proceso de potabilización que se está desarrollando en la actualidad se esquematiza en la Figura 4.1: El agua llega impulsada desde el pozo hasta el depósito donde se realiza la adición de permanganato de potasio, policloruro de aluminio y bisulfato sódico, posteriormente el agua atraviesa un filtro de arena y antes de entrar en el sistema de osmosis inversa es tratada con ácido clorhídrico, la última etapa del proceso de potabilización es el momento de la cloración y su posterior almacenaje en un depósito acumulador.

La ETAP da la posibilidad de evitar el sistema de osmosis inversa, realizando sólo el tratamiento previo. En el Anexo 1 aparece detallado el proceso actual

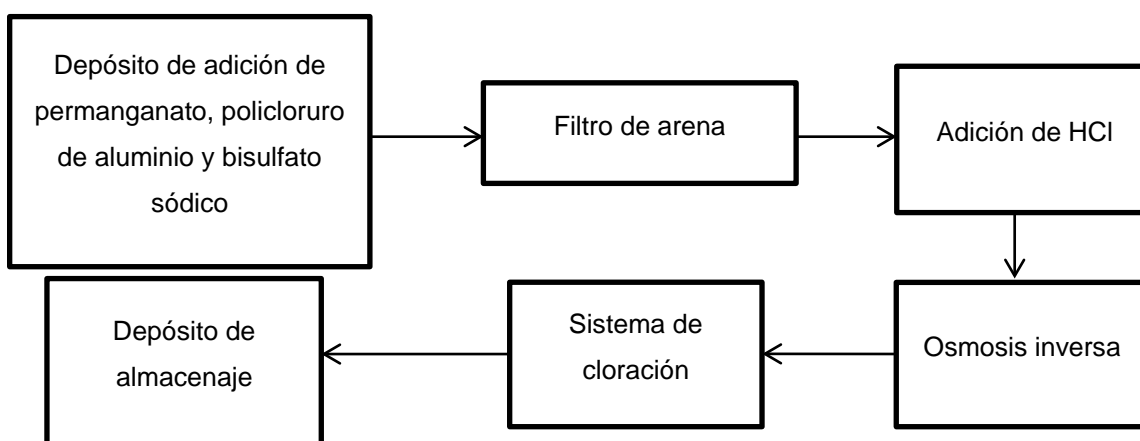


Figura 4.1. Diagrama del actual sistema de potabilización.

4.3. Tratamiento propuesto

Se trata de mantener la instalación previa modificando solo los reactivos a añadir utilizados en los ensayos del Apartado 3. Las condiciones de funcionamiento de la osmosis inversa se mantendrán como se encuentran actualmente ya que la eliminación de sulfatos ocurre en ella.

El agua llega impulsada al depósito de oxidación donde se añade permanganato potásico, sulfato de alúmina y polielectrolito de manera que se produce la oxidación de Mn y Fe, además de la reducción de la turbidez. Es un depósito de 30 m³ donde el agua permanece tratada entre un intervalo de tiempo de 30-40 minutos.⁸

Posteriormente el agua atraviesa un filtro de arena, cuya capacidad de filtración es de 60 m³/h (no requiere contralavados, ni bombeos específicos). En esta etapa se rechaza el 3% del agua donde se eliminará todos los sólidos en suspensión presentes en el agua.

Antes de la entrada a la osmosis, donde se eliminarán los sulfatos, el agua es impulsada por una bomba de alta presión de 11 Kg/cm² de acero inoxidable y pasa por un depósito con 20 filtros CUNO que se encargan de retener las partículas evitando que pasen al sistema de membranas.

⁸ Las adiciones se van haciendo progresivamente, de manera que toda el agua queda homogeneizada.

El sistema de membranas RO está constituido por 5 tubos con 6 membranas de configuración espiral cada uno diseñadas a una presión de trabajo máximo de 28 Kg/cm²

El permeado se incorporará al sistema para su almacenaje mientras que el rechazo volverá a introducirse al sistema de membrana para un nuevo tratamiento.

El sistema de cloración no se modifica ya que no es necesario cambiar la dosis de cloro.

De esta manera el agua permeada cumple la legislación del RD 140/2003.

En la Figura 4.2 queda la nueva distribución de la potabilizadora.

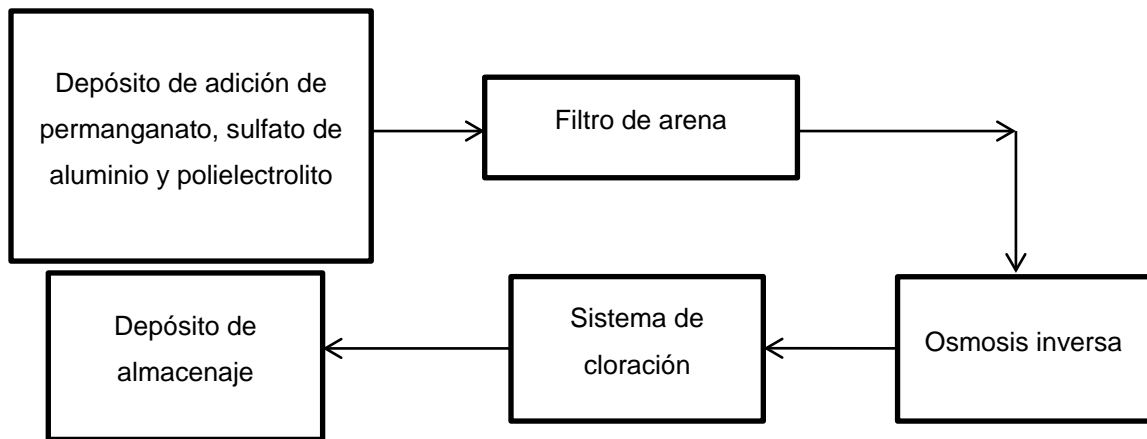


Figura 4.2. Diagrama del método de potabilización propuesto.

4.4. Recomendaciones

A continuación se presentan una serie de recomendaciones ajenas al estudio para mejorar el funcionamiento de la potabilizadora:

- Se recomienda sustituir el sistema de arenas presente en la actualidad, debido a un posible apelmazamiento de estas. Se puede utilizar el mismo tipo de arenas sintéticas que hay en la actualidad. Una vez sustituidas se recomienda un mantenimiento que consiste en la remoción de estas una vez al mes.
- Se recomienda sustituir los filtros cune debido a un deterioramiento de estos al ser atravesados por agua con altas concentraciones de metal (superiores a la Tabla 4.2)

5. Coste económico

La premisa del proyecto era la propuesta del método económico más rentable entre lo que se incluía la menor modificación posible del sistema.

Por lo tanto el único coste va a ser el cambio de reactivos, en la Tabla 5.1 aparece el coste de cada uno y en la Tabla 5.2 el coste diario de los reactivos a utilizar en la planta potabilizadora.

Tabla 5.1. Coste de los reactivos

Producto	Coste (€/Kg)
Sulfato de alúmina (estado sólido)	0,31 (pedido de 1.250Kg)
Crossefloc A200 (estado sólido)	3,70 (pedido de 25Kg)
Permanganato de potasio (estado sólido)	3,85 (pedido de 25Kg)

Los precios han sido proporcionados David Aguilar Bel.

Tabla 5.2. Coste de los reactivos por litro.

Producto	Coste diario (€)
Sulfato de alúmina (estado sólido)	22,48
Crossefloc A200 (estado sólido)	42,74
Permanganato de potasio (estado sólido)	1,50
COSTE TOTAL	66,72 €

El coste diario de los reactivos, para el caudal máximo estipulado, es de 66,72€ (24.352€ anuales) El coste diario proporcionado por el ayuntamiento ascendía aproximadamente a un total de 48.000€ anuales, se ha conseguido a través de este procedimiento en reducir el coste casi a la mitad, suponiendo esto un ahorro de casi 24.000€

6. Bibliografía.

6.1. Páginas web consultadas

1. <https://www.boe.es/> (Septiembre 2014) Boletín Oficial del Estado.
2. <https://www.boa.es> (Octubre 2014) Boletín Oficial de Aragón.
3. <http://www.ige.es> (Octubre 2014) Empresa química que realiza tratamiento de aguas.
4. <http://www.quimicadelagua.com> (Noviembre 2014) Página web donde explican procesos de tratamiento de aguas.
5. <http://www.adiego.com/> (Diciembre 2014) Adiego: Empresa comercializadora de productos químicos.
6. <http://www.prominent.es> (Diciembre 2014) ProMinent: Empresa especializada en el tratamiento de aguas.
7. <http://www.asoc-aluminio.es> (Diciembre 2014) AEA: Página web donde hablan del aluminio, productos derivados de él y aplicaciones.
8. <http://es.www.caruscorporation.com> (Febrero 2015) Carus: Empresa especializada en el tratamiento de aguas.
9. <http://www.tecnoaqua.es> (Marzo 2015) Tecnoaqua: Empresa especializada en agua industrial.
10. <http://www.membranes.com> (Octubre 2015) Hydranautics: Empresa especializada en tratamientos con membranas.
11. <http://www.dow.com> (Octubre 2015) Dow: Empresa especializada en el tratamiento de ósmosis inversa.
12. <http://www.axaragua.com> (Octubre 2015) Axaragua: Empresa de tratamiento de aguas.

6.2. Libros y artículos consultados

1. Eckenfelder W., W.; *Industrial Water Pollution Control*. McGraw-Hill International editions. 3rd edition, 2000. Singapoire.
2. Romero Rojas, J.A.; *Potabilización del agua*. Algaomega. 3^a edición.1999. México.
3. Arboleda Valencia, J.; *Teoría y práctica de la purificación del agua*. McGraw-Hill. 3^a edición.2000. Colombia.
4. Santocha Fontecha, R.; Gutiérrez Fernández, Y.; Rivas Gonzalo, J.C. “Ensayos con distintos coagulantes para reducir el aluminio residual en agua potabilizada”. Revista Tecnológica del Agua. (Mayo 1999).

6.3. Proyectos fin de carrera consultados

1. Blesa García, J.; “Diseño de una planta desaladora de agua de mar por ósmosis inversa”. Ingeniería Química. Universidad de Cádiz. 2006.
2. Cortés Carrascón, P.; “Comparativa económica de dos alternativas de depuración para la localidad de Carenas (Zaragoza)”. Ingeniería Técnica Industrial especialidad Química Industrial. EUITI (Universidad de Zaragoza): 2012

6.4. Profesionales

1. Jesús Serrano Valios. Técnico comercial de Innovaciones Químicas Bitan, S. L.
2. David Aguilar Gil. Director técnico de Wasser Gest Ibérica S.L.

6.5. Instituciones y organismos

1. Ayuntamiento de Ariza.
2. Servicio de Salud Pública.

ANEXOS

Anexo 1. POTABILIZADORA DE ARIZA

1.1. Ubicación de la instalación

Ariza (véase Figura A1.1) es un municipio de la provincia de Zaragoza que se encuentra a 125 kilómetros de la capital. Está situado en un pequeño valle al margen derecho del río Jalón, se encuentra a una altitud de 713 metros.

El acceso a Ariza se realiza por la Autovía A2 en el kilómetro 193.

Ariza tiene una población censada de 1185 habitantes, pero en periodo estival, se estima que la población aumenta hasta los 2000 habitantes y teniendo en cuenta un 20% de seguridad, respecto al número máximo de habitantes, se obtiene una población de 2400 habitantes, aun así se tomará el valor de 2500 habitantes equivalentes.



Figura A1.1. Localización de Ariza

1.2. Comunicaciones y transporte

El transporte del agua hasta la potabilizadora se realiza a través de un entramado de tuberías, que desembocan al principio de ésta.

El acceso a la potabilizadora se realiza en el kilómetro 4 de la carretera Z-CV-302.

1.3. Terrenos

La potabilizadora y el pozo afectados se sitúan en 2 polígonos municipales, a unos dos kilómetros del pueblo, más concretamente en las siguientes parcelas (véase Figuras A1.2, 1.3, A1.4, y A1.5):

- Potabilizadora: Parcela 123 (polígono 510).
- Pozo: Parcela 222 (polígono 512).

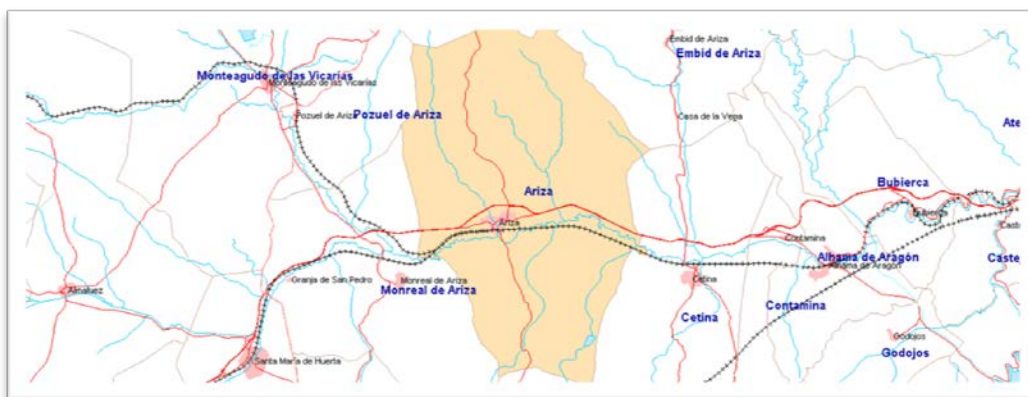


Figura A1.2. Localización de Ariza cartográficamente.

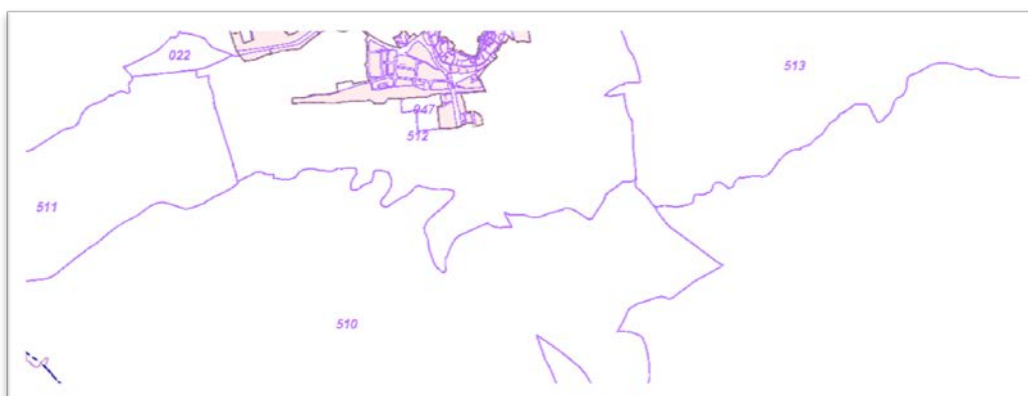


Figura A1.3. Localización de los polígonos afectados.



Figura A1.4. Parcela potabilizadora (123)

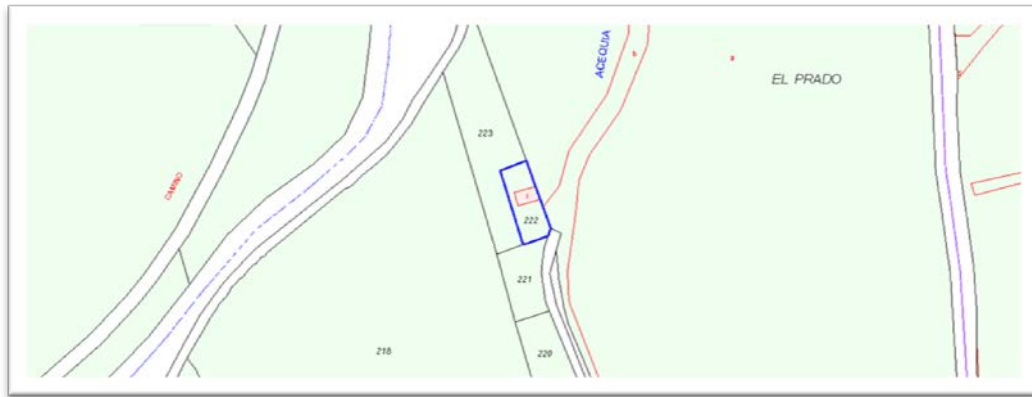


Figura A1.5. Parcela pozo (222)

1.5. Cronología ETAP

La ETAP fue construida en 2003 por la necesidad de agua debido a la escasez de esta en los meses de sequía.

Para ello se realizó un proyecto en el que se defendía y se presentaba la construcción de una ETAP mediante el método de resinas de intercambio, en dicho proyecto se compraba este método con el de osmosis inversa o el de disolución directa (con el agua del resto de los pozos).

En dicho proyecto aparecía un estudio de la población que será utilizado y actualizado en dicho proyecto con el fin de optimizar los cálculos hidráulicos.

Se decidió por el método de resinas de intercambio para solucionar cuanto antes los problemas de sequía, ya que era el método más rápido y fiable y el resto de pozos no eran suficientes.

Antes de pasar por la resinas de intercambio el agua era sometida a un proceso de oxidación con permanganato potásico para disminuir las cantidades de Fe y Mn presentes en el agua para posteriormente ser filtrada e introducida en el intercambiador, en los que se retenían los sulfatos y nitratos.

Posteriormente el agua era clorada y mezclada con el resto de agua de los otros pozos.

En el año 2006 se observó que la potabilizadora no cumplía con las expectativas de modo que se decidió implantar un sistema de osmosis inversa, que mejoraba la calidad del agua, pero aumentaba en exceso el coste de mantenimiento y consumo eléctrico.

En dicho año también se procedió a mejorar la canalización de agua hasta la potabilizadora cambiando la bomba de impulsión.

A pesar de todas estas modificaciones en el año 2010 la problemática del agua no se solucionaba, por lo que se decidió cambiar de compuestos siendo insatisfactorio, por lo que se volvió a los originales modificando sus dosis.

Con la nueva dosis de adición se consiguió cumplir los parámetros del agua, pero el agua salía coloreada como se explica en la memoria, por ello se decidió utilizar ese pozo sólo en extrema necesidad.

Quedando esta decisión como definitiva hasta la actualidad.

1.6. Sistema actual de potabilización

El agua de pozo es bombeada hasta la planta potabilizadora. Al llegar es introducida en el depósito de oxidación de 30 m³ donde se trata con permanganato potásico como coagulante para la eliminación de manganeso y bisulfato sódico como reductor del hierro, además se inyecta policloruro de aluminio como floculante; el agua permanece en este depósito durante 30 minutos.

Posteriormente se filtra a través de un depósito de arena, cuya función es la retención de las partículas en suspensión y disminución de la turbidez. La capacidad de filtración de dicho depósito es de 60 m³/h, no requiere contralavados.

El agua rechazada en esta etapa es del 3%.

Una vez eliminados el Fe y Mn, el agua se almacena en un depósito intermedio, el cual garantiza la disponibilidad de agua necesario en los periodos de limpieza de la filtros, no debiendo en estos periodos interrumpir el funcionamiento de la membrana. El llenado de este depósito es manual.

Para llegar al sistema de osmosis inversa el agua es bombeada a través de una bomba a la vez que se le inyecta anti-incrustante, evitando así la precipitación de sales que atascarían las membranas.

El agua impulsada a través de una bomba de 11 Kg/cm² atraviesa un depósito de 20 filtros de 8 Kg/cm² CUNE, donde quedan retenidas las partículas que hayan superado las fases anteriores, y llegan al sistema de membranas RO está constituido por 5 tubos con 6 membranas de configuración espiral cada uno diseñadas a una presión de trabajo máximo de 28 Kg/cm². El agua a tratar tiene una presión osmótica natural de 2,9 Kg/cm², las condiciones de diseño en estas condiciones es de 10-12 Kg/cm² y un caudal de 28 m³/h.

El agua permeada se lleva al depósito de almacenaje dónde se clora y el agua de rechazo se recircula para que vuelva a someterse al proceso de osmosis o se elimina.

El sistema de osmosis dispone de un pretratamiento químico y efectúa un barrido de membrana. Con este sistema se logra que la instalación al permanecer parada se llene de agua de más baja salinidad, evitándose riesgos de precipitación de sales en las membranas, que se produciría si la instalación quedara llena de agua de mayor concentración.

Se requiere la limpieza de las membranas 2 ó 3 veces al año.

Si es necesario el agua puede evitar atravesar el sistema de osmosis inversa.

Anexo 2. MATERIAL Y REACTIVOS

Los ensayos de coagulación del presente proyecto se han llevado a cabo en un laboratorio que se ubica en el edificio Betancourt de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura y para su desarrollo se han empleado una serie de materiales y reactivos que se detallan a continuación:

1.1. Equipos

1.1.1. Jar-Test

Un Jar-Test es un equipo que permite al operador simular un proceso de tratamiento convencional de coagulación-floculación a pequeña escala en el laboratorio, y se utiliza para estimar la dosis óptima o el tipo de coagulante químico necesario para alcanzar determinados parámetros de calidad de las aguas. El Jar-Test empleado en estos ensayos está diseñado por la empresa SBS y consta de 6 agitadores de velocidad regulable como puede verse en la fotografía de la Figura A2.1.

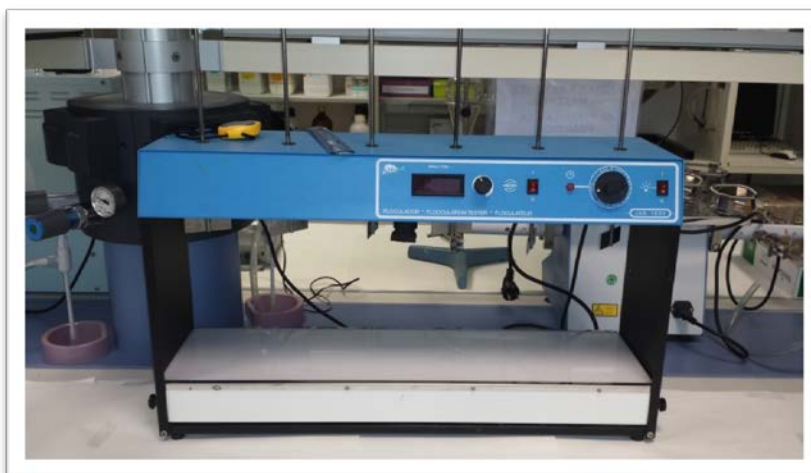


Figura A2.1. Jar-Test.

1.1.2. Agitador magnético

Un agitador magnético consiste en una pequeña placa magnética que está normalmente cubierta por una capa de plástico (usualmente Teflón) debajo de la cual se encuentran una serie de electromagnetos dispuestos en forma circular con el fin de crear un campo magnético rotatorio. Es muy frecuente que dicha placa tenga un arreglo de resistencias eléctricas con la finalidad de dotarle de calor necesario para calentar algunas soluciones químicas. El agitador utilizado es de la marca RCT BASIC (Figura A2.2).



Figura A2.2. Agitador magnético y placa calefactora.

1.1.3. pH-metro electrónico

El pH es un parámetro muy importante en el análisis químico de aguas. El principio básico de la determinación electroquímica del pH es la medida de la actividad de los iones H^+ por mediciones potenciométricas, usando para la medida experimental del pH un potenciómetro equipado con un electrodo de referencia (Ag/AgCl) y un electrodo indicador de membrana de vidrio.

Su medida se basa en la medida del potencial eléctrico que se crea en la membrana de un electrodo de vidrio, función de la actividad de los iones hidrógeno a ambos lados de la membrana.

El pH-metro de laboratorio empleado es de la marca CRISON (Figura A2.3) y sirve para la medida de pH de muestras acuosas en general. Está formado por un electrodo de bajo mantenimiento cuya membrana está protegida frente a los golpes por un cuerpo de plástico.



Figura A2.3. pH-metro electrónico.

1.1.4. Conductímetro digital

La conductividad eléctrica, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica. Esta capacidad depende del número de iones presentes y de su movilidad, así como de la temperatura a la que se realice la medición. En el Sistema Internacional la conductividad se expresa en milisiemens por metro (mS/m).

Las mediciones de conductividad en laboratorio se utilizan para:

- Determinar el grado de mineralización del agua destilada y desionizada.
- Verificar de forma rápida la variación del contenido de sales disueltas en aguas superficiales, de uso doméstico e industrial.
- Analizar cuantitativamente los sólidos totales disueltos en una muestra de agua. Esto se puede obtener, multiplicando el valor de la conductividad por un factor de correlación empírico que puede variar de 0.5 a 0.9, dependiendo de los componentes solubles y la temperatura de la muestra. Este factor se puede determinar mediante análisis comparativos de sólidos disueltos totales por evaporación y determinaciones del valor de la conductividad correspondiente. Este factor de correlación solo es válido cuando la muestra tiene un pH entre 5 y 8 a valores mayores o menores del pH, los resultados no serán confiables.
- Determinar la cantidad de reactivo iónico necesario en algunas reacciones de precipitación y neutralización.

En este caso, las medidas de conductividad se llevan a cabo con un conductímetro de sobremesa modelo Micro CM 2200 CRISON que presenta dos modos de medida: por estabilidad o en continuo. Midiendo por estabilidad el usuario únicamente debe esperar a que la lectura se fije en pantalla. La medida en continuo se aplica en el seguimiento continuado de una reacción.

Este conductímetro presenta cambio de escalas automático de $\mu\text{S}/\text{cm}$ a mS/cm , tanto en calibración como en medición (el instrumento selecciona la escala de mayor resolución para cada medida) y temperatura de referencia seleccionable entre 20 y 25°C.



Figura A2.4. Conductímetro digital.

1.1.5. Horno de secado o mufla

Las muflas para laboratorio de la marca CRAFT®, están diseñadas para utilizarse en laboratorios de Química, Fundición, Tratamientos térmicos, etc. Algunas de sus principales aplicaciones son análisis gravimétricos, templado y endurecimiento de metales, trabajos en ortodoncia, secado y evaporación.



Figura A2.5. Horno de secado o mufla.

1.1.6. Balanza analítica

La balanza analítica es un instrumento utilizado en el laboratorio, que sirve para medir la masa. Su característica más importante es que posee muy poca incertidumbre, lo que las hace ideal para utilizarse en mediciones muy precisas.

Generalmente son digitales, y algunas pueden dar la información en distintos sistemas de unidades. La balanza empleada (Figura A2.6) proporciona una lectura de hasta 0,0001 g y es de la marca KERN.



Figura A2.1.6. Balanza analítica.

1.1.7. Turbidímetro

Es un instrumento utilizado para determinar la turbidez del agua y efluentes. Es un turbidímetro de la marca Hanna Instruments, modelo LP 2000. El medidor cubre un rango de 0 a 1000 FTU con una resolución de 0,01 desde 0,00 a 50,00 FTU y unidades desde 50 a 1000 FTU⁹. El equipo es autorango entre las dos escalas.

El medidor se presenta en una carcasa robusta y ligera, con un display LCD (Figura A2.7), un frasco de cristal donde se introduce la disolución a medir (bajo el tapón negro) y 4 botones para realizar la lectura, encendido o calibración.



Figura A2.7. Turbidímetro

1.2. Reactivos y disoluciones

- Polydadmec (40%).
- Cloruro férrico (38%).
- Sulfato de alúmina (1%).
- Polielectrolito catiónico.
- Polielectrolito aniónico CrosseFloc A200 (1% o 0,7%)
- Permanganato potásico (0,03M)
- Cal (2M)
- Agua destilada.


⁹ 1 FTU = 1 NTU

1.3. Material de laboratorio

- Probetas de 25, 100 y 300 mL.
- Vasos de precipitados de 250 y 400 mL.
- Pipetas de vidrio graduadas de 1, 2,5 y 10 mL.
- Micropipetas de 1 mL.
- Pera succionadora.
- Electroimán.
- Embudo y papel de filtro para análisis cualitativo \varnothing 90 mm (FILTER LAB).
- Cuentagotas.
- Varilla de vidrio.
- Puntas para micropipetas.
- Placas de vidrio.
- Espátula de laboratorio.

Anexo 3. FICHAS DE SEGURIDAD

1.1. Sulfato de alúmina

SULFATO DE ALUMINIO		ICSC: 1191 Noviembre 2010	
CAS: 10043-01-3 CE / EINECS: 233-135-0		Sulfato aluminico Trisulfato de aluminio Trisulfato de dialuminio Alumbre $Al_2S_3O_{12} / Al_2(SO_4)_3$ Mesa molecular: 342.1	
			
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos corrosivos y tóxicos (o gases).		En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN			
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA DISPERSIÓN DEL POLVO!	
Inhalación	Tos. Dolor de garganta.	Evitar la inhalación de polvo. Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio y reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento.	Guantes de protección.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
Ojos	Enrojecimiento. Quemaduras.	Gafas ajustadas de seguridad	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad). Proporcionar asistencia médica inmediatamente.
Ingestión	Sensación de quemazón en la garganta y el pecho. Dolor abdominal. Náuseas. Vómitos. Diarrea.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber uno o dos vasos de agua. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Protección personal: filtro para partículas adaptado a la concentración de la sustancia en aire. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente tapado de plástico; si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión y trasladarlo a continuación a un lugar seguro.		Clasificación GHS Atención Provoca irritación ocular grave. Puede provocar irritación respiratoria. Tóxico para los organismos acuáticos.	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
		Separado de bases y oxidantes fuertes. Mantener en lugar seco. Almacenar en un área sin acceso a desagües o alcantarillas. Medidas para contener el efluente de extinción de incendios.	

Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2011

IPCS
International
Programme on
Chemical Safety



SULFATO DE ALUMINIO**ICSC: 1191****DATOS IMPORTANTES****ESTADO FÍSICO; ASPECTO**

Cristales brillantes o polvo de color blanco. Inodoro. Higroscópico.

PELIGROS QUÍMICOS

La sustancia se descompone al calentarla intensamente o al arder, produciendo humos tóxicos y corrosivos, incluyendo óxidos de azufre. Reacciona con bases y violentamente con oxidantes fuertes, liberando calor y humos tóxicos y corrosivos, incluyendo óxidos de azufre. La disolución en agua es moderadamente ácida. Ataca a muchos metales en presencia de agua.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN

TLV no establecido.

MAK no establecido.

VÍAS DE EXPOSICIÓN

La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN

Puede alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa, especialmente si está en forma de polvo.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN

La sustancia irrita gravemente los ojos, el tracto gastrointestinal y levemente la piel.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA

La sustancia puede afectar al sistema nervioso central, dando lugar a alteraciones funcionales.

PROPIEDADES FÍSICAS

Se descompone a 770°C.

Densidad: 2.71 g/cm³

Solubilidad en agua: elevada. Ver Notas.

DATOS AMBIENTALES

La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos. Se aconseja firmemente impedir que el producto químico se incorpore al ambiente.

NOTAS

Presente en la naturaleza como el mineral Alunogenita. Otros nos CAS: 16828-12-9 (14-hidrato); 16828-11-8 (16-hidrato); 7784-31-8 (18-hidrato); 17927-65-0 (x-hidrato). El sulfato de aluminio se hidroliza en agua formando ácido sulfúrico y liberando calor. Los valores de la bibliografía para la solubilidad de esta sustancia son muy diferentes debido al proceso de hidrólisis.

1.2. Cloruro férrico

CLORURO FÉRRICO (ANHIDRO)		ICSC: 1499
		Abril 2004
Cloruro de hierro Tricloruro de hierro Cloruro de hierro (III)		
CAS:	7705-08-0	FeCl ₃
RTECS:	LJ9100000	Masa molecular: 162,2
NU:	1773	
CE / EINECS:	231-729-4	

TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: usar un medio de extinción adecuado.
EXPLOSIÓN			

EXPOSICIÓN			
Inhalación	Tos. Dolor de garganta.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Enrojecimiento. Dolor.	Guantes de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. Visión borrosa.	Gafas ajustadas de seguridad	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal. Vómitos. Diarrea. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber agua abundante. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.

DERRAMES Y FUGAS	ENVASADO Y ETIQUETADO
Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente de plástico; si fuera necesario, humedecer el polvo para evitar su dispersión. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Protección personal adicional: respirador de filtro P2 para partículas nocivas.	Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 8 Grupo de Envasado NU: III
RESPUESTA DE EMERGENCIA	ALMACENAMIENTO
Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80S1773.	Separado de bases fuertes y materiales incompatibles. Ver Peligros Químicos. Mantener en lugar seco. Bien cerrado.

IPCS
International
Programme on
Chemical Safety



Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2004

DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Cristales higroscópicos negros a marrones.

PELIGROS QUÍMICOS:

La sustancia se descompone al calentarla intensamente, a más de 200°C produciendo gases tóxicos y corrosivos, incluyendo cloro y cloruro de hidrógeno.
La sustancia se descompone en contacto con agua produciendo cloruro de hidrógeno. La disolución en agua es moderadamente ácida. Reacciona violentamente con metales alcalinos, cloruro de alio, óxido de etileno, estireno y bases, originando peligro de explosión. Ataca al metal, formando gas combustible (hidrógeno-ver FISQ:0001).

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: (sales de hierro solubles, como Fe) 1 mg/m³; (ACGIH 2004).
MAK no establecido.

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN:

La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar rápidamente una concentración nociva de partículas en el aire cuando se dispersa.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. Corrosivo por ingestión.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de fusión: 37°C (ver Notas)

Densidad: 2,9 g/cm³

Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 92 reacciona

Presión de vapor, Pa a 20°C: despreciable

DATOS AMBIENTALES

La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.

NOTAS

UN 1773 corresponde a la forma anhidro; UN 2582 corresponde a la disolución. Se indica el punto de fusión aparente originado por pérdida del agua de cristalización. Ficha de Emergencia de Transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-80GC1-II+III, corresponde a la disolución. Nombres comunes: Flores martis y molisita.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2010):

VLA-ED: (sales de hierro solubles, como Fe) 1 mg/m³

Notas: Los términos "soluble" e "insoluble" se entienden con referencia al agua.

1.3. Polydadmac



Material Safety Data Sheet Clearflock L-POLYDADMAC

Publication date : 15.06.2010
Revision no :
Revision date :
Page : 1/4
MSDS No : 049

This document was prepared based on 91/155/EEC and principles and rules for preparing Safety Data Sheet (11/03/2002-24692).

1. Identification of Substance / Preparation and of the Company

1.1. Identification of substance / preparation

Product name : Clearflock L-POLYDADMAC
Chemical family : Organic polymer
CAS No : 26062-79-3
EINECS No : ---

1.2. Use of substance / preparation

Flocculant, continuous cleaner and shiner.

1.3. Identification of the company

Company name : Günsu Enerji Sistemleri ve Konfor Tesisleri Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Address : Organize San. Böl. 1.Kısım Atatürk Bul. 5164 ada 11 parsel Döşemealtı/ANTALYA
Telephone : +90 242 258 11 40
Fax : +90 242 258 12 71
Website : www.gunsu.com.tr
E-mail : info@gunsu.com.tr
Emergency tel. : +90 242 258 11 40

2. Composition / Information on Ingredients

<u>Substance name</u>	<u>Conc.%</u>	<u>CAS No.</u>	<u>EC No.</u>	<u>Hazard Symbol</u>	<u>Risk Phrases</u>	<u>Safety Phrases</u>
Poly (diallyldimethyl	5-15%	26062-79-3	-	-	-	-

3. Hazard Identification

3.1. Hazard Symbol

According to EC Directives: Product does not contain any dangerous product.

3.2. Risk Phrases

None

4. First Aid Measures

Inhalation: If inhaled, remove to fresh air. If breathing becomes difficult, call a physician.

Ingestion: If swallowed, wash out mouth with water provided person is conscious. Call a physician.

Skin: In case of contact, immediately wash skin with soap and copious amounts of water.

Eyes: In case of contact with eyes, flush with copious amounts of water for at least 15 minutes. Assure adequate flushing by separating the eyelids with fingers. Call a physician.

5. Fire Fighting Measures

Appropriate fire extinguishing materials and tools: Water spray. Carbon dioxide, dry chemical powder, or appropriate foam.

Specific hazards: Non- flammable.

Flash point: N/A

Special protective equipment: Wear MSHA/NIOSH-approved self-contained breathing apparatus and full protective clothing including face and eye protection if this product is exposed to fire.

6. Accidental Release Measures

Personal precautions: Avoid contact with eye and skin. Wear self contained breathing apparatus and full protective clothing.

Environmental protective measures: Restrict access to area until completion of cleanup. Stop leak if you can do so without risk. Contain by dicing with soil or other non-combustible absorbent material. With clean shovel, carefully place material into clean, labeled, ridged, plastic or plastic coated, dry container and cover; remove from area. Comply with all applicable governmental regulations on spill reporting, handling and disposal of waste.

Cleaning / Collecting Methods: Contain spill using absorbent material and place in an approved container. Dispose of according to the method outlined in Section 13, "Disposal Considerations" below.

7. Handling and Storage

Use of product: During handling of liquid, prevent contact with skin and eyes by using adequate personal protective equipment (see Section 8, "Exposure Control / Personal Protection" below). If the release of airborne material is likely, exhaust ventilation and/or respiratory protection may also be necessary.

Warnings to protect against fire and explosion: None

Desired features for warehouse and containers: Keep in a tightly closed container, stored in a cool, dry, ventilated area. Protect from direct sunlight.

8. Exposure Control / Personal Protection

Engineering precaution: Provide exhaust ventilation or other controls to keep the airborne concentrations of vapors below their respective threshold limit value.

Personal protection equipments:

Eye: Use fully protected chemical safety goggles.

Hands: Water resistance or neoprene gloves may be used.



9. Physical and Chemical Properties

9.1. Appearance:	: Clear liquid
9.2. Color	yellow
9.3. Odor	: Specific
9.4. Important health, safety and environment information	
- pH	: 3,5
- Flash point	: N/A
- Density	: 1,02 g/ml
- Solubility	: Soluble in water

10. Stability and Reactivity

Chemical stability
Stable under normal conditions for 12 months.

Conditions should be prevented
None

Dangerous degradation products
None

Polymerization danger
None.

11. Toxicological Information

Acute toxicity: LD50 oral, rat: 3030 mg/kg
Skin: Slightly irritating in case of long term contact.
Eye: Causes severe irritation of the eye in soft tissue.
Carcinogenic effect: Not listed.

12. Ecological Information

Ecotoxicity
This product is appropriate to 73/404/EEC ve 73/405/EEC and biodegradable in environment.
Acute fish toxicity: LC50 96h: >23 mg/L

13. Disposal Consideration

Dispose of in accordance with all local, state and federal environmental rules and regulations. Check the pH of the waste to be disposed.

14. Transport Information

ADR/RID:

Not restricted under ADR regulations.

IMDG:

Not restricted under IMDG regulations.

ICAO-TI and IATA-DGR:

Not restricted under IATA regulations.

15. Regulatory Information

Prepared and labeled as EC directives.

Product Hazard Definition:

According to EC Directives: Product does not contain any dangerous product.

3.2. Risk Phrases

None

16. Other Information

This Safety Data Sheet is compiled with information of the individual components.

The data are based on current knowledge and experience. This Safety Data Sheet is for product safety requirements and product review and does not make any guarantees about the specifics.

The data is appropriate only when the product is used for desired application. This product is not sold in accordance with other applications - usage in such a situation can lead to risks mentioned in this list. Do not use for other application without consulting the manufacturer.

This Safety Data Sheet is prepared in accordance with the Dangerous Substances Directive (67/548/EEC).

This Safety Data Sheet is prepared in accordance with the Hazardous Preparations Directive (88/379/EEC).

This Safety Data Sheet is prepared in accordance with the Safety Data Sheet Directive (2001/58EC).

1.4. Polielectrolito aniónico

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA Nombre del Producto: AN923SH

Proveedor

SNF INC

PO BOX 250,
RICEBORO, GA 31323
Tel : (912) 884 3366 - Fax : (912) 884 5031

2. COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

Identificación de la preparación

Polímero aniónico soluble.

3. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Los derrames producen superficies extremadamente resbalosas.

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación

Moverse a un lugar con aire fresco.

Contacto con la piel

Lavar con agua y jabón como precaución. En caso de persistir la irritación de la piel o en ojos, consulte a su médico.

Contacto con los ojos

Enjuague abundantemente con agua, también bajo los párpados. En caso de persistir la irritación, consulte a su médico.

Ingestión

El producto no se considera tóxico basado en estudios realizados con animales.

5. MEDIDAS CONTRA INCENDIO

Medios de extinción

Agua, aspersión de agua, espuma, dióxido de carbono, polvo seco.

Precauciones especiales

Los derrames producen superficies extremadamente resbalosas.

6. MEDIDAS CONTRA USO ACCIDENTAL.

Precauciones personales

No se requieren.

Precauciones ambientales

No contamina el agua.

Métodos de limpieza

No enjuague con agua. Limpie el derrame barriendo o aspirando y conserve el material en contenedores para su disposición. Enjuague con abundante agua las trazas de material no recogido.

7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Manejo

Evite el contacto con la piel, ojos. Evite la formación de polvo y no lo respire.

Lave las manos siempre al finalizar el contacto con el material.

Almacenamiento Mantenga en un lugar seco, frío (0-30 grados centígrados).

8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

Controles de ingeniería Utilice la ventilación existente en caso de niebla. La ventilación natural es adecuada en ausencia de niebla.

Equipo de protección personal

- **Equipo de respiración** Se recomienda el uso de mascarilla cuando la concentración de polvo es mayor a 10mg/m^3
- **Protección para las manos** Guantes de hule.
- **Protección ocular** Lentes de seguridad con barreras laterales. No utilice lentes de contacto.
- **Protección para la piel** No se requiere ropa especial.
- **Higiene** Lávese las manos antes de descansos y al final del día de labor. Manéjelo de acuerdo a las buenas prácticas de higiene y seguridad.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Forma	polvo blanco
Color	blanco
Olor	ninguno
pH	4-9 a 5g/l

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	El producto es estable, no ocurrirá polimerización riesgosa.
Evitar materiales	Materiales oxidantes pueden causar reacciones exotérmicas.
Productos peligrosos de	No hay descomposición si se almacena y se aplica
Descomposición	tal como es. La combustión de los materiales secos puede producir ácido clorhídrico gaseoso, óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de carbono.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad aguda

- **Oral** LD50/ORAL/rat > 5000 mg/Kg
- **Dermatológica** El producto no se considera tóxico basado en estudios de laboratorio realizados sobre animales.
- **Inhalación** No se espera que el producto sea tóxico por inhalación.

Irritación

- **Piel** Resultados en pruebas en conejos demuestran que el producto no irrita la piel.
- **Ojos** Pruebas realizadas de acuerdo a la técnica Draize demostraron que el material no produce efectos en la cornea o en el iris solo ligeros

efectos conjuntivos similares a los ocasionados por cualquier material granular.

- **Toxicidad crónica** Dos años de estudios de alimentación en ratas y perros no revelaron ningún efecto adverso en la salud.

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

- **Peces** LC50/Danio rerio/96hr >100mg/L (OECD203) (basado en Resultados obtenidos en pruebas con productos análogos).
- **Alga** EC50 /Senastrum capricornutum/72h > 100 mg/L (OECD201) (basado en resultados obtenidos en pruebas con productos
- **Bioacumulación** No se espera que el producto se bioacumule.
- **Persistencia / degradabilidad** No bioedragable

13. INFORMACIÓN REGULATORIA

Estatus RCRA	No es un deshecho peligroso
Número de deshecho peligroso	No aplica
Cantidad reportable (40 CFR 302)	No aplica
Cantidad planeada de umbral (40 CFR 335)	No aplica

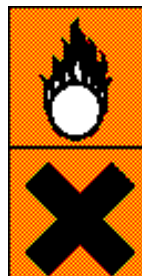
1.5. Permanganato potásico

  			
KMnO_4 Masa molecular: 158 N° ICSC 0672			
TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA
INCENDIO	No combustible pero facilita la combustión de otras sustancias. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	NO poner en contacto con sustancias inflamables.	En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSION	Riesgo de incendio y explosión en contacto con sustancias combustibles y agentes reductores.		
● INHALACION	Sensación de quemazón. Tos. Dolor de garganta. Jadeo. Dificultad respiratoria. Síntomas no inmediatos (véanse Notas).	Evitar la inhalación del polvo . Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
● PIEL	Enrojecimiento. Quemaduras cutáneas. Dolor.	Guantes protectores. Traje de protección.	Aclarar con agua abundante, después quitar la ropa contaminada y aclarar de nuevo. Proporcionar asistencia médica.
● OJOS	Enrojecimiento. Dolor. Quemaduras profundas graves.	Pantalla facial, o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
● INGESTION	Sensación de quemazón. Dolor abdominal. Diarrea. Náuseas. Vómitos. Shock o colapso.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. Dar a beber agua abundante. NO provocar el vómito. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO

Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente tapado. Recoger cuidadosamente el residuo, trasladarlo a continuación a un lugar seguro. NO absorber en serrín u otros absorbentes combustibles. (Protección personal adicional: traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración.) NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente.

Separado de sustancias combustibles y reductoras, metales en forma de polvo . Bien cerrado.

NU (transporte):
Ver pictograma en cabecera
Clasificación de Peligros NU: 5.1
Grupo de Envasado U:II
CE: simbolo O simbolo Xn
simbolo NR:82250/53 S:260-61



D A T O S F I S I C O S	<p>ESTADO FISICO: ASPECTO: Cristales púrpura oscuro .</p> <p>PELIGROS FISICOS:</p> <p>PELIGROS QUIMICOS: rápidamente una concentración La sustancia se descompone al calentarla nociva de partículas en el aire cuando se dispersa. intensamente, produciendo gases tóxicos y humos irritantes . La sustancia es un oxidante fuerte y</p> <p>DE CORTA DURACION: reacciona con materiales combustibles y reductores, La sustancia es corrosiva para los ojos, la piel y el tracto causando peligro de incendio o explosión. Reacciona</p> <p>ingestión. La inhalación del violentamente con metales en forma de polvo , polvo de esta sustancia puede originar edema pulmonar originando peligro de incendio. (véanse Notas). Los efectos pueden aparecer de forma</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION: TLV: (com Mn) 0.2 mg/m³, como TWA; (ACGIH 2003).</p> <p>PROLONGADA O MAK: (como Mn) 0.5 mg/m³ I; Riesgo para el embarazo: grupo C; Categoría de pulmón, dando lugar a limitación de pico: 1; (DFG 2003).</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION: La sustancia se puede absorber por inhalación del polvo y por ingestión .</p> <p>RIESGO DE INHALACION: La evaporación a 20°C es despreciable; sin embargo, se puede alcanzar</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION respiratorio. Corrosiva por</p> <p>no inmediata. Se recomienda vigilancia médica.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION</p> <p>REPETIDA: La sustancia puede afectar al bronquitis y neumonía .</p>
	<p>PROPIEDAD DES FISICAS</p> <p>Se descompone por debajo del punto de fusión a 240°C Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 6.4 Densidad: 2.7g/cm³ Presión de vapor, Pa a 20°C: despreciable</p>	
<p>DATOS AMBIENTALES</p> <p>La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos.</p>		

Anexo 4. PARTE EXPERIMENTAL

En este anexo se exponen los distintos análisis de polielectrolito aniónico Crosseffloc A200 y sulfato de alúmina que han sido rechazados o que son una repetición de algún análisis anterior, los cuáles han sido realizados para confirmar resultado.

Se realiza un primer ensayo en el que se añade una dosis fija de polielectrolito aniónico (5 mL) y se va variando la dosis de sulfato de alúmina entre 7'5 y 10 mL (ensayos A1-A3). En la Figura A4.1 se ven los resultados.

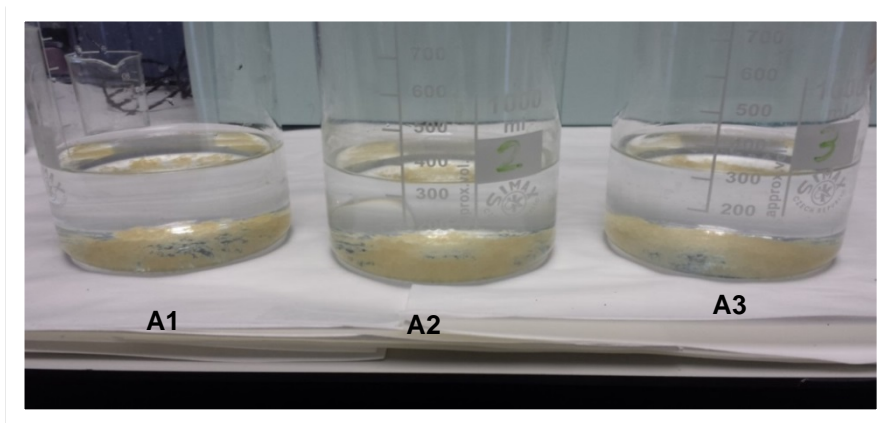


Figura A4.1. Disoluciones de polielectrolito aniónico Crosseffloc A200 y sulfato de alúmina.

Se observa que cuanto más pequeña es la dosis de sulfato de alúmina mejora la formación de precipitado, de modo que se decide elegir una dosis aún más pequeña de la experimentada en los siguientes ensayos

Posteriormente se realiza otro ensayo en el que se añade una dosis fija de sulfato de alúmina de 7 mL y se va variando la de polielectrolito entre 5 y 10 mL (ensayos A4-A6). En la Figura A4.2 se pueden observar los resultados.

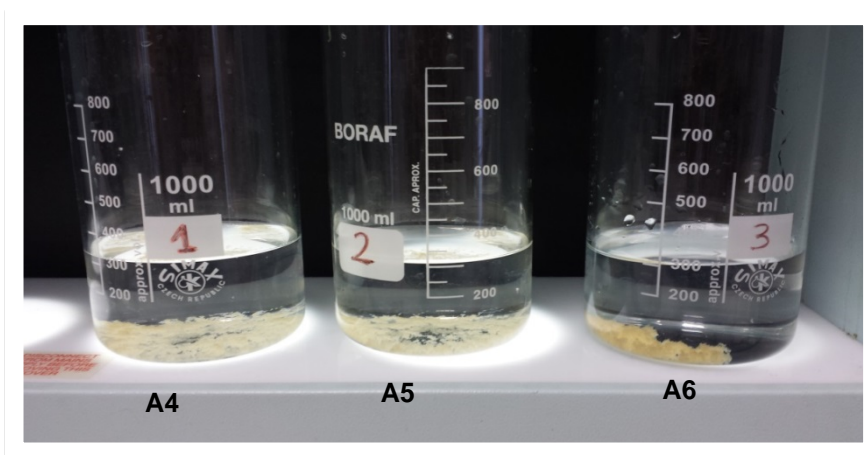


Figura A4.2. Disoluciones de polielectrolito aniónico Crosseffloc A200 y sulfato de alúmina.

Una vez finalizado estos ensayos se confirma que la dosis de polielectrolito es el adecuado ya que se produce la coagulación.

Por último se decide comparar las mismas cantidades de sulfato de alúmina y polielectrolito, pero variando la concentración de este, para ello se preparan 6 muestras de la A7 a la A12 (Figuras A4.3, A4.4 y A4.5):

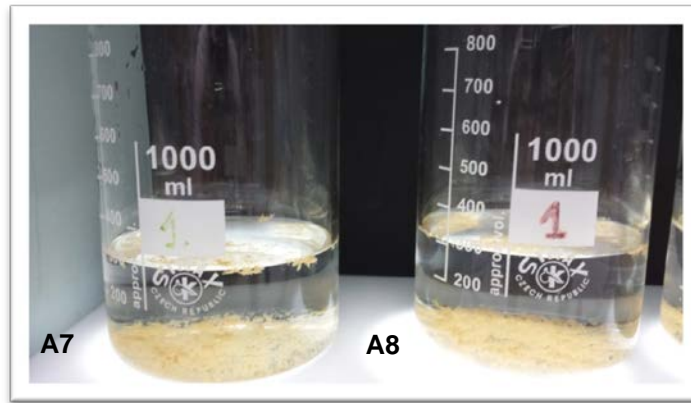


Figura A4.3. Disoluciones de polielectrolito aniónico Crosseffloc A200 5 mL y sulfato de alúmina 7 mL.

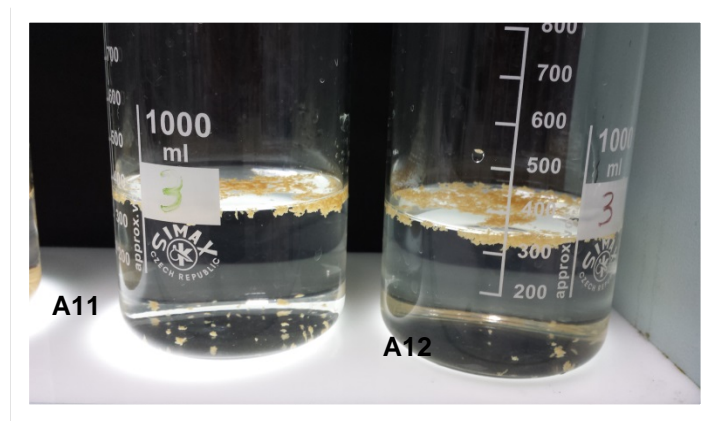


Figura A4.4. Disoluciones de polielectrolito aniónico Crosseffloc A200 5 mL y sulfato de alúmina 10 mL.

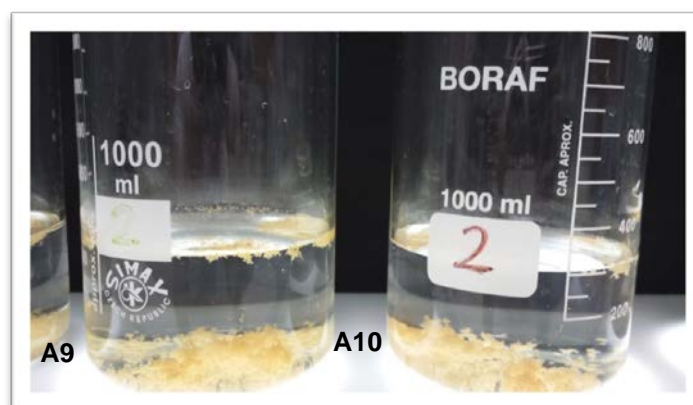


Figura A4.5. Disoluciones de polielectrolito aniónico Crosseffloc A200 5 mL y sulfato de alúmina 20 mL.

Las muestras seleccionadas son las siguientes: 62 y 66, en ambas muestras se mide el pH, la turbidez, la conductividad, el hierro, el manganeso, el aluminio y los sulfatos (Tabla A4.1).

Tabla A4.1. Variación de los parámetros de las muestras seleccionadas

Muestra	pH	Conductividad	Turbidez	Fe(mg/L)	Mn(mg/L)	Al(mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)
A7	6,03	1.691	2,92	0,073	0,4332	1,675	683
A11	6,29	1.660	1,3	0,058	0,43	0,487	580

Anexo 5. CÁLCULOS EXPERIMENTALES

1.1. Dosis de permanganato potásico

La concentración de manganeso es de 0,440 mg/L, en una muestra de 330 mL habrá 0,132 mg a partir de la masa molecular del Mn (55 g/mol) se obtienen $2,4 \cdot 10^{-6}$ moles de Mn

A partir de estos moles de Mn^{2+} obtenemos los moles de MnO_4^-

$$\frac{3 \text{ moles de } Mn^{2+}}{2 \text{ moles de } MnO_4^-} = \frac{2,4 * 10^{-6} \text{ moles de } Mn^{2+}}{x \text{ moles de } MnO_4^-}$$

Se obtiene como resultado $1,6 \cdot 10^{-6}$ moles de $KMnO_4$. Teniendo en cuenta que la masa molecular del permanganato de potasio es de 158,1 g/mol resultan 0,253 mg de $KMnO_4$ en 300 mL

El permanganato usado es 0,03M, es decir en 1 litro de disolución se tiene 4,743 gramos, por lo que se debe calcular la cantidad en la que hay $2,53 \cdot 10^{-4}$ gramos de permanganato potásico.

$$\frac{1 \text{ litro}}{x \text{ litros}} = \frac{4,743 \text{ gramos}}{2,53 * 10^{-4} \text{ gramos}}$$

Como consecuencia se necesita un volumen de $5,33 \cdot 10^{-5}$ litros de permanganato.

Por lo tanto para 300 mL de muestra se necesitan 0,05 mL de permanganato para que precipite todo el manganeso.

De modo que la dosis será $1,67 \cdot 10^{-4}$ L de permanganato 0,03M por cada litro de agua

Anexo 6. POTABILIZACIÓN DE AGUAS

La eliminación de materias en suspensión y en disolución que deterioran las características físico- químicas y organolépticas así como la eliminación de bacterias y otros microorganismos que pueden alterar gravemente nuestra salud son los objetivos perseguidos y conseguidos en la estaciones de tratamiento a lo largo de todo un proceso que al final logra suministrar un agua transparente y de una calidad sanitaria garantizada.

El tratamiento del agua es el proceso de naturaleza físico-química y biológica, mediante el cual se eliminan una serie de sustancias y microorganismos que implican riesgo para el consumo o le comunican un aspecto o cualidad organoléptica indeseable y la transforma en un agua apta para consumir.

Todo sistema de abastecimiento de aguas que no esté provisto de medios de potabilización, no merece el calificativo sanitario de abastecimiento de aguas. En la potabilización del agua se debe recurrir a métodos adecuados a la calidad del agua origen a tratar. Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) es la instalación donde se lleva a cabo el conjunto de procesos de tratamiento de potabilización situados antes de la red de distribución y/o depósito, que contenga más unidades de tratamiento.

1.1 Tipos de tratamientos

Los tratamientos para potabilizar el agua, se pueden clasificar de acuerdo con:

- 1) Los componentes o impurezas a eliminar.
- 2) Parámetros de calidad.
- 3) Grados de tratamientos de agua

Según los anteriores puntos, los procesos unitarios necesarios para la potabilización del agua en función de sus componentes aparecen en la Tabla A8.1:

Tabla A7.1. Procesos a llevar a cabo en función de los contaminantes presentes.

Contaminante	Tipo de operación
Sólidos gruesos	Desbaste
Partículas coloidales	Coagulación-floculación + decantación
Sólidos en suspensión	Filtración
Materia orgánica	Carbón activo
Gérmenes patógenos	Desinfección
Metales (Mn, Fe...)	Precipitación por oxidación
Sólidos disueltos (Cl ⁻ , K ⁺ ...)	Ósmosis inversa

1.2. Tipos de ETAP

Las aguas superficiales destinadas al consumo humano se clasifican según el grado de tratamiento al que se deben someter para su potabilización, en los grupos siguientes:

- Tipo A1: Tratamiento físico simple y desinfección.
- Tipo A2: Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección.
- Tipo A3: Tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección.

Los procesos unitarios que corresponde a cada grado de tratamiento aparecen en la Tabla A7.2.

Tabla A7.2. Grado de tratamiento

Tratamiento	Composición del tratamiento	Grado de descripción
Tipo A1	Tratamiento físico simple + desinfección	Filtración rápida
		Desinfección
Tipo A2	Tratamiento físico normal + tratamiento químico	Percloración
		Coagulación - floculación
		Decantación
		Filtración
		Desinfección
Tipo A3	Tratamiento físico y químico intenso	Cloración breakpoint
		Coagulación - floculación
		Decantación
		Filtración
		Desinfección

Considerando un agua superficial, de río, embalse, o subterránea, con unos problemas de calidad que estimamos como convencionales, el proceso o línea de tratamiento, considerado también convencional, consta de una serie de etapas más o menos complejas en función de la calidad del agua bruta objeto del tratamiento y se recogen en las siguientes secuencia.

- Peroxidación y desinfección inicial con cloro, dióxido de cloro u ozono, o permanganato potásico.
- Coagulación-Floculación, con sales de aluminio o de hierro y coadyuvantes de la floculación (polielectrolitos, polidadadmas) coagulación con cal, sosa, o carbonato sódico.
- Decantación, en diversos tipos de decantadores.
- Filtración sobre arena, o sobre lecho mixto (arena y antracita) y en determinados casos sobre lecho de carbón en grano.
- Acondicionamiento, corrección del pH por simple neutralización o por remineralización con cal y gas carbónico.
- Desinfección final con cloro, cloraminas, dióxido de cloro u ozono.

Las instalaciones de tratamiento se completan, a veces, con la adición de carbón activo en polvo, para la eliminación de sustancias que provocan la aparición de olores y sabores, la adición de permanganato potásico para la eliminación de hierro y manganeso y en casos más conflictivos y constantes de presencia de sustancias orgánicas así como otras que pueden originar olores y sabores, se llega a la instalación de filtros de carbón activo en grano tras los filtros de arena.

Hoy en día el tratamiento no solo tiene que seguir y mejorar el tratamiento convencional, sino que deberá abordar las nuevas causas de contaminación que no puedan eliminarse con los métodos convencionales, recurriendo a otros métodos e incluso empleando otros reactivos complementarios. El tratamiento del agua y en especial la desinfección (hasta ahora generalmente con cloro) ha sido responsable en gran medida del 50% de aumento de las expectativas de vida en los países desarrollados a lo largo del siglo XX.

La eficacia del tratamiento del agua en la reducción de las enfermedades que esta transmite depende de la calidad del agua en origen y del proceso seguido en el sistema de tratamiento. Los agentes patógenos transmitidos por el agua, que pueden causar enfermedades, provienen generalmente de sistemas hídricos con inadecuado tratamiento, especialmente desinfección y filtración. En la Figura A7.1 se representan las fases del proceso de tratamiento convencional.

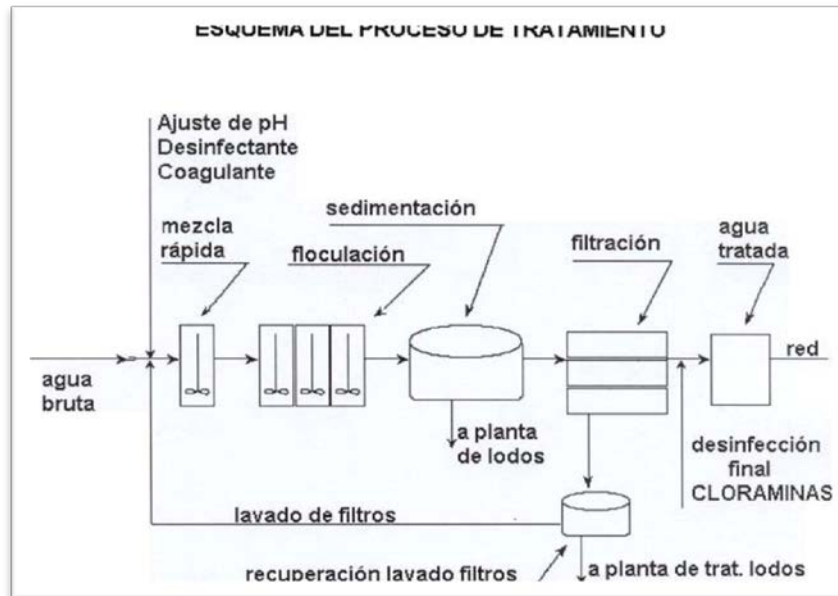


Figura A7.1. Esquema del proceso de una ETAP convencional

Los reactivos son incorporados en las siguientes etapas:

- Cloro/Dióxido de Cloro/Ozono/Permanganato potásico, empleados como oxidantes y en la desinfección inicial o primaria, se incorporan a la entrada de la cámara de mezcla.
- Coagulante, se incorpora en la cámara de mezcla.
- Cal, u otro alcalino ácido para corregir pH, se pueden incorporar tanto en la fase de mezcla y coagulación, como al agua ya filtrada.
- Coadyuvantes de la floculación como los polielectrolitos, se dosifican generalmente tras la fase de coagulación y antes de la decantación.
- Cloro/Dióxido de cloro/Ozono/Cloraminas, empleados en la desinfección final, se incorporan al agua filtrada.

En cuanto al control de calidad del agua en una ETAP hay que considerar en primer lugar que el agua que entra en una estación o planta de tratamiento (agua bruta o agua cruda) se somete a una serie de ensayos y análisis físicos, químicos y bacteriológicos que nos determinan el estado y características de esta agua y por tanto las pautas del tratamiento a seguir. Igualmente es necesario realizar distintos análisis a lo largo de las diversas fases del tratamiento con objeto de comprobar la eficacia de cada una de estas operaciones y finalmente se realizan los correspondientes análisis y controles al agua una vez completado el proceso de tratamiento y así conocer las características finales del agua tratada.

Anexo 7. MÉTODO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

1.1. Coagulación

La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales (generalmente negativas (-)) causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante el cual, neutralizando sus cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí. Detalle de cargas negativas realizando coagulación. La neutralización de la carga eléctrica del coloide, objeto de la coagulación, se realiza aplicando al agua determinadas sales de aluminio o hierro (coagulantes); generalmente se aplica sulfato de aluminio, de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua. Las reacciones de coagulación son muy rápidas duran fracciones de segundo desde que se ponen en contacto las partículas con el coagulante.

Existen tres propiedades claves que debe reunir un coagulante:

- Ser un catión trivalente.
- No ser toxico.
- Ser insolubles a un pH neutro.

Coagulantes más comunes:

- Sulfato de aluminio.
- Sulfato ferroso.
- Sulfato férrico.
- Cloruro férrico.
- Polydadmac.

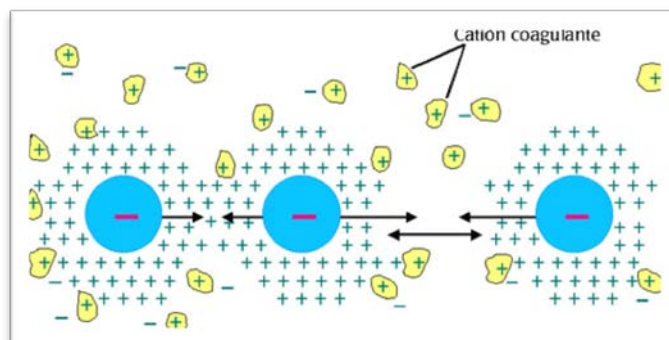


Figura A8.1. Proceso de coagulación

La coagulación y la floculación tienen lugar en sucesivas etapas, de forma que una vez desestabilizadas las partículas, la colisión entre ellas permita el crecimiento de los microflóculos, apenas visibles a simple vista, hasta formar mayores flóculos. Al observar el agua que rodea a los microflóculos, esta debería estar clara, si esto no ocurre, lo más probable, es que todas las cargas de las partículas no han sido neutralizadas y por tanto la coagulación no se ha completado, en este caso será necesario añadir más coagulante

En la eficacia de la coagulación influyen diversos factores entre los que destaca el pH y otras características físico-químicas del agua, así como una adecuada energía de agitación rápida para conseguir una apropiada dispersión del coagulante y proporcionar las necesarias colisiones entre las partículas para conseguir una óptima coagulación.

EL pH es un factor crítico en el proceso de coagulación. Siempre hay un intervalo de pH en el que un coagulante específico trabaja mejor, que coincide con el mínimo de solubilidad de los iones metálicos del coagulante utilizado. Siempre que sea posible, la coagulación se debe efectuar dentro de esta zona óptima de pH, ya que de lo contrario se podría dar un desperdicio de productos químicos y un descenso del rendimiento de la planta. Si el pH del agua no fuera el adecuado, se puede modificar mediante el uso de coadyuvantes o ayudantes de la coagulación, entre los que se encuentran: Cal, sosa, carbonato sódico.

A continuación de la etapa de coagulación tiene lugar un segundo proceso llamado floculación, este tiene lugar tras someter a los microflóculos a una agitación lenta que permite la unión de estos en agregados mayores o flóculos, visibles ya a simple vista y con la suficiente cohesión y densidad para someterlos a la siguiente etapa de sedimentación. La floculación requiere un menor gradiente de agitación para impedir la rotura y disgregación de los flóculos ya formados. Los flóculos rotos son difíciles de retornar a su tamaño inicial.

La floculación se ve mejorada con el empleo de coadyuvantes de esta, conocidos como polielectrolitos, estos suelen ser macromoléculas de polímeros orgánicos (tipo poliacrilamidas). La coagulación se consigue mediante una difusión rápida de las sustancias coagulantes en el agua objeto del tratamiento, empleando medios de agitación rápida.

Tras la neutralización de las partículas coloidales, es decir una vez conseguida la desestabilización coloidal, las partículas formadas están en disposición de aglomerarse, esta aglomeración de las partículas descargadas, ayudadas ahora por una agitación lenta, es el objetivo de la floculación. La floculación está relacionada con los fenómenos de transporte de las partículas dentro del líquido, que son los que ocasionan el contacto de las partículas coaguladas.

1.2. Floculación

En los floculadores que pueden ser mecánicos o hidráulicos, se produce la mezcla entre el producto químico y el coloide que produce la turbiedad, formando los floc. Los floculadores mecánicos son paletas de grandes dimensiones, y velocidad de mezcla baja. Son hidráulicos con canales en forma de serpentina en la cual se reduce la velocidad de ingreso del agua produciendo la mezcla. - Floculación y clarificación.

La Floculación es el proceso que consiste en la aglomeración de las partículas desestabilizadas, para formar flóculos de un peso molecular lo suficientemente elevado para que sedimenten o floten. La reunión de estos flóculos pequeños en conglomerados mayores (floculación) se realiza con ayuda de polímeros polielectrolíticos, que permiten la decantación a velocidades altas de sedimentación. Debido a que la coagulación y la inmediata etapa de floculación ocurren muy rápidamente, en la práctica poco se distinguen.

El estanque de Floculación-Clarificación posee un tiempo de residencia de 0,5 horas, adicionalmente permite la flotación- sedimentación de los flóculos formados. Ilustración con detalle de cargas de los flóculos formados.

Los compuestos que pueden estar presentes en el agua pueden ser: Sólidos en suspensión; Partículas coloidales (menos de 1 micra), gobernadas por el movimiento browniano; y, Sustancias disueltas (menos que varios nanómetros). La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos y después en los flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados sedimentadores.

Los factores que pueden promover la coagulación-floculación son el gradiente de la velocidad, el tiempo y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan y da más tiempo para que las partículas desciendan, por efecto de la gravedad, y así se acumulen en el fondo. Por otra parte el pH es un factor prominente en acción desestabilizadora de las sustancias coagulantes y floculantes. El control de la coagulación y floculación, en una planta de tratamiento de agua, es una de las fases más importantes y difíciles del proceso general.

Tipos de floculantes Según su naturaleza, los floculantes pueden ser:

- **Minerales:** por ejemplo la sílice activada. Se le ha considerado como el mejor floculante capaz de asociarse a las sales de aluminio. Se utiliza sobre todo en el tratamiento de agua potable.
- **Orgánicos:** son macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular, de origen natural o sintético.

Los floculantes orgánicos de origen natural se obtienen a partir de productos naturales como alginatos (extractos de algas), almidones (extractos de granos vegetales) y derivados de la celulosa. Su eficacia es relativamente pequeña.

Los de origen sintético, son macromoléculas de cadena larga, solubles en agua, conseguidas por asociación de monómeros simples sintéticos, alguno de los cuales poseen cargas eléctricas o grupos ionizables por lo que se le denominan polielectrolitos.

Según el carácter iónico de estos grupos activos, se distinguen:

- Polielectrolitos no iónicos: son poliacrilamidas de masa molecular comprendida entre 1 y 30 millones.
- Polielectrolitos aniónicos: Caracterizados por tener grupos ionizados negativamente (grupos carboxílicos).
- Polielectrolitos catiónicos: caracterizados por tener en sus cadenas una carga eléctrica positiva, debida a la presencia de grupos amino.

La selección del polielectrolito adecuado se hará mediante ensayos jarrest.

En general, la acción de los polielectrolitos puede dividirse en tres categorías:

- En la primera, los polielectrolitos actúan como coagulantes rebajando la carga de las partículas. Puesto que las partículas del agua residual están cargadas negativamente, se utilizan a tal fin los polielectrolitos catiónicos.
- La segunda forma de acción de los polielectrolitos es la formación de puentes entre las partículas. El puente se forma entre las partículas que son adsorbidas por un mismo polímero, las cuales se entrelazan entre sí provocando su crecimiento.
- La tercera forma de actuar se clasifica como una acción de coagulaciónformación de puentes, que resulta al utilizar polielectrolitos catiónicos de alto peso molecular. Además de disminuir la carga, estos polielectrolitos formarán también puentes entre las partículas.

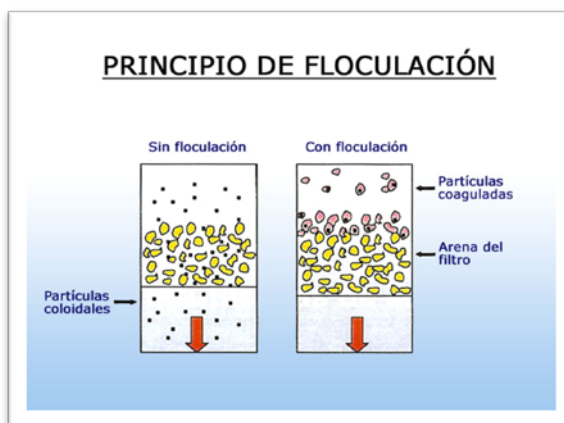


Figura A8.2. Comparación proceso sin floculación y con floculación