

Valorización de salmueras y residuos metálicos como coagulantes para el tratamiento de aguas residuales

Autores: S.Oyonarte^{1*}, L. Grima-Carmena¹, F. Bosch¹, A. Domenech², V. Fajardo³, F. Sempere³, T. Montoya³

1 Instituto Tecnológico Metalmecánico, Mueble, Madera, Embalaje y Afines (AIDIMME)

2 Creaciones Joviar S.L.

3 Global Omnium Medioambiente S.L.

*Corresponding author: soyonarte@aidimme.es

Resumen

El uso de tratamientos avanzados tales como la ósmosis inversa (OI) o el intercambio iónico (II) son necesarios para la generación de agua de elevada calidad, tanto en el ámbito urbano como industrial. Como resultado de su uso se generan corrientes concentradas conocidas como salmueras, las cuales generan un problema medioambiental debido a que normalmente son vertidas sin tratamiento alguno. Por otra parte, en plantas de tratamiento de agua residual (EDAR), urbanas e industriales, se usan coagulantes formulados en base a sales de aluminio o hierro para la eliminación de diversos contaminantes. La producción y uso de coagulantes comerciales genera residuos y conlleva un elevado consumo de energía y materias primas. En este contexto, el principal objetivo de este trabajo es producir coagulantes alternativos y sostenibles a través de sistemas electrolíticos, usando chatarra metálica como electrodos de sacrificio y salmueras como electrolitos. Los coagulantes obtenidos son validados tratando aguas residuales reales, tanto urbanas como industriales.

La producción de coagulantes base Fe y Al se llevó a cabo en un reactor electrolítico de 870 L conformado por dos módulos, cada uno conectado a un reactor específico con hasta 91 electrodos por compartimento. Para la caracterizar el funcionamiento de la planta se estudiaron parámetros tales como la intensidad de corriente, el tiempo de residencia y el consumo energético. El contenido en metales en los coagulantes se midió mediante el uso de espectroscopia de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES). Se utilizaron aguas reales para evaluar la eficiencia en la eliminación de contaminantes (principalmente fósforo y metales) y jar-test para ajustar la dosis de coagulante.

Para la producción de coagulantes se valorizaron las salmueras generadas en dos plantas de desalinización, una con II como tratamiento y la otra de OI. Los coagulantes producidos presentaron una concentración máxima de 1.200 mgFe/L y 825 mgAl/L, con un rango de consumo energético de 9.4-11.4 kWh/kg_{Al} y 6.2 kWh/kg_{Fe}. Los coagulantes fueron validados tratando agua residual industrial y urbana, cumpliendo en ambos casos con los requisitos de vertido exigidos. Estos resultados muestran la viabilidad técnica de producción de coagulantes alternativos valorizando salmueras y residuos metálicos a través de la electroquímica.

Palabras clave: Salmueras, metal, coagulantes, reactor electrolítico, tratamiento de agua residual

Summary

The use of advanced treatments such as reverse osmosis (RO) or ion exchange (IX) are necessary for the generation of high-quality water for urban and industrial purposes; while resulting concentrated streams known as brines pose environmental problems since they are normally discharged without prior treatment. On the other hand, in urban and industrial wastewater treatment plants (WWTPs) coagulants made of iron and aluminium salts are used to remove a diverse range of pollutants. The production and use of commercial coagulants generates waste streams and entails high energy and raw material consumption.

In this context, the main objective of this work is to produce alternative and sustainable coagulants through an electrolytic system using scrap metals as sacrificial electrodes and brines as electrolytes. The coagulants obtained are validated treating real urban and industrial wastewaters.

The production of Fe and Al based coagulants was carried out in an 870 L-size electrolytic reactor composed of two modules, each one connected to a specific rectifier with up to 91 electrodes per compartment. Parameters like current intensity, residence time and energy consumption were studied to characterise the plant operation. The metal content in the coagulants was measured using inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-OES). Real wastewaters were used to evaluate the pollutant (mainly phosphorous and metals) removal efficiency and jar-test to adjust the coagulant dose.

Brines coming from two desalination plants, both IX and RO, were used to obtain coagulants. The maximum concentration reached was 1.200 mgFe/L and 825 mgAl/L, with a range of energy consumption of 9.4-11.4 kWh/kg_{Al} and 6.2 kWh/kg_{Fe}. The coagulants were validated treating urban and industrial wastewater, and in both cases, they met the required imposed discharged limits. These results show the technical feasibility of producing alternative coagulants valorising brines and metal waste through electrochemistry.

Keywords: brines, metal, coagulants, electrolytic reactor, wastewater treatment

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La generación de agua de calidad para consumo humano, urbano o industrial necesita habitualmente de plantas desalinizadoras basadas habitualmente en tratamientos de ósmosis inversa (OI) o intercambio iónico (II). Estas tecnologías generan concentrados, denominados salmueras, con salinidades que pueden llegar hasta los 70 g/L en sólidos disueltos. Actualmente, las salmueras generan un problema medioambiental importante ya que son mayoritariamente vertidas al mar, afectando al ecosistema marino, o implican un tratamiento de alto impacto ambiental (1).

La búsqueda de opciones de valorización de salmueras promueve un modelo de economía circular dentro del ciclo del agua, reduciendo su impacto y alargando su vida útil. De hecho, hay un interés creciente en el uso de tecnologías para recuperar las sales u obtener compuestos comercializables. Sin embargo, la mayoría de las tecnologías están en fase de investigación o no llegan a una escala industrial (2).

Por otra parte, actualmente se estima que se consumen más de 190.000 Tn/año de sales férricas en España (3), y 2.150.000 Tn/año en Europa, para su uso como coagulante en plantas de tratamiento de aguas residuales, desalinización y plantas de potabilización. Estos coagulantes son corrosivos, necesitan de especiales medidas de protección y almacenamiento, además de que su producción y distribución genera un elevado impacto ambiental por su consumo energético y emisiones asociadas.

La huella de carbono generada en la producción de coagulantes inorgánicos oscila entre 40 y 120 g CO₂ equivalentes por mol de aluminio para los coagulantes base Al, y entre 40-70 g CO₂ equivalentes por mol de Fe para los base Fe. En el impacto, el factor de mayor influencia es la producción de la materia prima, siendo el transporte el segundo en importancia. Lógicamente, el uso de materia prima secundaria reduce notablemente la huella de carbono (4), siendo el uso de chatarra la mejor elección para el caso de los coagulantes base Fe.

1.2. Objetivos

En base a los antecedentes descritos, el presente artículo propone la obtención y uso de coagulantes base Fe y Al a partir de salmueras y residuos metálicos, utilizando para ello un sistema electrolítico (ELS). La escala es demostrativa, con un TRL 6/7, utilizando para ello una planta piloto, y testeando los coagulantes formulados con aguas residuales reales, tanto de naturaleza industrial como urbana.

1.3. Tecnología para la producción de coagulante

La tecnología utilizada está basada en el proceso de electrocoagulación. Se trata de un proceso electroquímico donde el ánodo, de Fe o Al, es oxidado, generando in situ hidróxidos y oxohidróxidos del metal del ánodo, que actuarán como coagulantes.

Las principales ventajas de este sistema respecto a una coagulación convencional son las siguientes:

- Generación del reactivo in situ, evitando la necesidad de transporte, manipulación y almacenamiento de reactivos químicos, normalmente corrosivos, tipo FeCl₃.
- No adiciona contraiones, tipo cloruros o sulfatos, que acompañan al ión coagulante, Fe o Al.
- Ausencia o muy bajo consumo de reactivos químicos en su funcionamiento. El único reactivo es el electrón. Esto a su vez permite el planteamiento del uso de fuentes de energía renovables para su funcionamiento.

A las ventajas habituales del proceso de electrolisis se añade, en este caso particular, la aplicación del concepto de economía circular en el funcionamiento de la tecnología. Para ello, se utilizan residuos de salmuera como electrolito receptor del coagulante formulado, así como residuos de chatarra como material anódico. Adicionalmente, el hecho de ser un sistema electroquímico se ve favorecido por la alta conductividad de las salmueras, favoreciendo bajos consumos eléctricos.

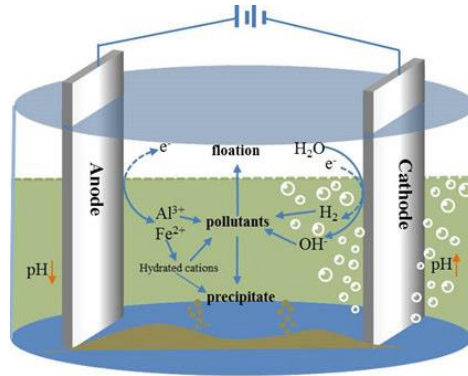


Fig 1. Esquema general de proceso electrolítico (electrocoagulación).

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.1. Planta piloto

Para la producción de los coagulantes se utilizó una planta piloto consistente en un sistema electrolítico (ELS por sus siglas en inglés) con las siguientes especificaciones técnicas:

- Reactor/Rectificador

Volumen: 870 L dividido en 2 compartimentos de 435 L cada uno

Dimensiones: 2800 x 1185 x 900 mm

Nº electrodos: 182 en total, 92 unidades de Aluminio y 90 de Acero

Voltaje/Frecuencia: 220/240 V y 50/60 Hz

- Condiciones de operación:

Intensidad/Voltaje de trabajo: 1.500 A/16 V

Temperatura de trabajo: 10-35 °C

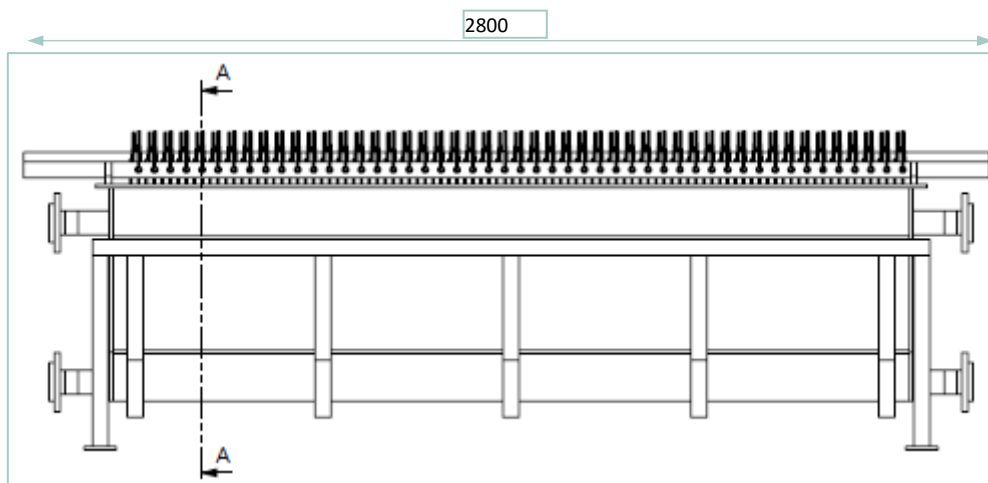


Fig 3. Vista frontal de la planta y fotografía con la planta integrada en un contenedor transportable.

2.2. Residuos utilizados

2.2.1. Salmueras

Se utilizaron dos tipos de salmueras, una procedente de plantas industriales, generada en una planta de desmineralización basada en el intercambio iónico y la otra con tecnología de ósmosis inversa.

2.2.1.1. Planta de intercambio iónico

La planta está ubicada en la empresa Creaciones Joviar S.L, utilizando el agua desmineralizada en los enjuagues finales de una línea de tratamiento superficial para la fabricación de herrajes. La planta se regenera mensualmente, generando corrientes de alta salinidad. Para la producción de coagulantes se llevaron a cabo dos regeneraciones, cada una de ellas para la fabricación de un tipo de coagulante. Cada regeneración se corresponde con aproximadamente el 70 % del volumen total generado en la propia regeneración. El 30 % no utilizado es un volumen con condiciones de pH muy extremos que no son aprovechables para la producción electroquímica de los coagulantes.

Tabla 1. Caracterización de salmueras obtenidos de la planta de intercambio iónico

Parámetro	Regeneración nº1	Regeneración nº2
pH (u pH)	6,44	10,04
Conductividad (µs/cm)	51.906	52.945
Sulfatos (ppm)	444	---
Nitratos (ppm)	350	713
Cloruros (ppm)	22.404	22.280
Al (ppm)	<0,1	0,50
Fe (ppm)	<0,1	0,31
Na (ppm)	9.520	859
Ca (ppm)	1.450	330
Mg (ppm)	870	75,9
K (ppm)	328	108,8

2.2.1.2. Planta de ósmosis inversa

Salmuera procedente del rechazo de una planta de ósmosis inversa de una empresa utilizada para la formulación de productos químicos. La caracterización es la siguiente:

Tabla 2. Caracterización de salmuera obtenida en la planta de ósmosis inversa

Parámetro	Valores
pH (u pH)	6,9
Conductividad (µs/cm)	36.316
Sulfatos (ppm)	312
Nitratos (ppm)	2,5
Cloruros (ppm)	14.311
K (ppm)	12,2

2.2.2. Chatarra

Se utilizaron dos residuos de chatarra, de hierro y aluminio, procedentes de las gestores de residuos metálicos. Su composición es la siguiente:

Tabla 3. Composición chatarra utilizada como ánodo en el proceso electrolítico (electrocoagulación)

Parámetro	%	Parámetro	%
Al	96,1	Fe	99,1
Si	0,36	C	0,09
Mn	0,32	Cr	0,03
Mg	2,73	Ni	0,03
Fe	0,29	Cd	0,00

---	---	Cu	0,07
-----	-----	----	------

Para su uso como electrodos fueron conformadas láminas mediante cortado laser con las dimensiones adecuadas para el reactor de la planta piloto.

2.3. Caracterización del reactor

Antes de llevar a cabo el estudio con los residuos de salmueras, se llevó a cabo una caracterización del reactor electrolítico, teniendo como objetivo conocer el rango de concentración de coagulante que el sistema podría alcanzar. Esto permitió comprobar el funcionamiento y rendimiento de la planta, así como diseñar adecuadamente los ensayos de producción de coagulante.

La salmuera alimento utilizada para la caracterización fue la procedente de una planta de desmineralización de ósmosis inversa (pto 2.2.1.2). Se estudió la influencia de las dos variables operacionales principales:

- Intensidad de corriente: 750 A y 1500 A.
- Tiempo de residencia: 15' y 45'.

El estudio se llevó a cabo tanto con aluminio como con hierro como materiales anódicos. La naturaleza de la salmuera condiciona el voltaje a aplicar para conseguir una determinada intensidad de corriente, parámetro que regula la velocidad de disolución anódica. Una vez fijada la intensidad, será el tiempo de residencia el que finalmente controle la concentración final del coagulante. Los rangos de concentración obtenidos con distintos tiempos e intensidades son los siguientes:

- Aluminio: 0,15-0,81 g/L (15' a 750 A -45' a 1500 A).
- Hierro: 0,45-2,51 g/L (15' a 750 A- -45' a 1500 A).

Los valores bajos de cada intervalo están asociados a tiempos de reacción de 15' y una intensidad standard de 750 A. Los de máxima concentración se corresponden con tiempos de reacción de 45'y a 1500 A de intensidad de trabajo. Se pueden establecer tiempos de trabajo menores (5') o mayores (60') en función de necesidades de concentración del producto (coagulante).

2.4. Producción de coagulante

Los coagulantes se formularon a partir de las salmueras generadas en las plantas de desalinización. Las procedentes del intercambio iónico se utilizaron para producir coagulantes base Al y Fe, en el caso de la planta de ósmosis inversa sólo de Al.

2.4.1. Planta de intercambio iónico

2.4.1.1. Producción de coagulante base Al

Se llevaron a cabo tres ciclos de producción, a densidad de corriente constante, y tres tiempos de residencia en el reactor. El lote de salmuera utilizado fue el codificado como regeneración nº1. Las condiciones de trabajo fueron las siguientes:

Tabla 4. Condiciones de producción de coagulante base Al con salmuera procedente de II

Test	I (A)	j (A/m ²)	Tiempo (min)
Al1	1400	92	15
Al2	1400	92	30

Al3	1400	92	45
-----	------	----	----

2.4.1.2. Producción de coagulante base Fe

Se llevaron a cabo cuatro ciclos de producción, a densidad de corriente constante, y tres tiempos de residencia en el reactor. El lote de salmuera utilizada fue el codificado como regeneración nº2. Las condiciones de trabajo fueron las siguientes:

Tabla 5. Condiciones de producción de coagulante base Fe con salmuera procedente de II

Test	I (A)	J (A/m ²)	Tiempo (min)
Fe1	1400	92	30
Fe2	1400	92	15
Fe3	1400	92	30
Fe4	1400	92	45

2.4.2. Planta de ósmosis inversa

2.4.2.1. Producción de coagulante base Al

Los ensayos de caracterización del reactor se hicieron con la salmuera generada en la planta de RO (pto 2.3). Por este motivo, para la producción se fijó un tiempo e intensidad, correspondientes a la concentración máxima de Al.

Tabla 6. Condición de producción de coagulante base Al con salmuera procedente de O.I

Test	I (A)	j (A/m ²)	Tiempo (min)
Al4	1400	92	45

2.5. Tratamiento de aguas residuales

Los coagulantes formulados se testearon en dos plantas de depuración de aguas residuales, una industrial y otra urbana. La planta industrial depura las aguas de la empresa Creaciones Joviar S.L, dedicada al recubrimiento de piezas de Zamak, ubicada en la localidad de Ibi. La EDAR urbana está ubicada en Gandia (Valencia), dando servicio a la comarca de la Safor.

3. RESULTADOS

3.1. Producción de Coagulante

3.1.1. Planta de intercambio iónico

3.1.1.1. Coagulante base Al

Los resultados obtenidos en la producción de coagulante base Aluminio son los siguientes:

Tabla 7. Producción de coagulante base Al con salmuera procedente de II

Test	Conductividad (mS/cm)	I (A)	Voltaje (V)	ϕ (A/m ²)	Tiempo (min)	V coagulante (L)	pH
Al1	51,9	1400	3,6	92	15	435	6,4
Al2	51,9	1400	3,0	92	30	435	5,6
Al3	51,9	1400	2,6	92	45	435	4,9

Test	Concentración (mgAl/L)	Metal por lote (gAl)	Energy consumida por kg metal (kWh/kg)	Coste energía* por Kg metal (€/kg)	Eficiencia farádica (%)
Al1	277,30	120,63	12,0	1,1	102,7
Al2	557,80	242,64	11,3	1,0	103,3
Al3	824,70	358,74	11,4	1,1	101,8

- Coste de kwh: 0,12 €

3.1.1.2. Coagulante base Fe

Los resultados obtenidos en la producción de coagulante base Fe son los siguientes:

Tabla 8. Producción de coagulante base Fe con salmuera procedente de II

Test	Conductividad (mS/cm)	I (A)	Voltage (V)	ϕ (A/m ²)	Tiempo (min)	V coagulante (L)	pH
Fe1	52,95	1400	3,4	92	30	435	7,1
Fe2	52,95	1400	3,4	92	15	435	10,2
Fe3	52,95	1400	3,0	92	30	435	10,2
Fe4	52,95	1400	2,8	92	45	435	10,2

Test	Concentration (mgFe/L)	Metal por lote (gFe)	Energía consumida por kg metal (kWh/kg)	Coste energía* por kg metal (€/kg)	Eficiencia farádica (%)
Fe1	792,00	344,52	7,2	0,7	47
Fe2	252,90	110,01	13,2	1,2	30
Fe3	771,80	335,73	7,4	0,7	46
Fe4	1199,00	521,56	6,2	0,6	48

- Coste de kwh: 0,12 €

La eficiencia farádica obtenida en el ensayo Fe2 es anormalmente baja, probablemente originada por un fenómeno de pasivación parcial de los electrodos, ya que el sistema de producción en las pruebas realizadas fue por lotes y paradas entre cada uno de ellos. Este fenómeno se minimiza en el caso de trabajar en continuo.

3.1.2. Planta de ósmosis inversa

3.1.2.1. Coagulante base Al

Los resultados obtenidos en la producción de coagulante base Aluminio son los siguientes:

Tabla 9. Producción de coagulante base Al con salmuera procedente de O.I

Test	Conductividad (mS/cm)	I (A)	Voltaje (V)	ϕ (A/m ²)	Tiempo (min)	Energía consumida (kWh)/lote	pH
Al4	36,3	1400	1,4	92	45	7,68	6,7

Test	Concentración (mgAl/L)	Metal por lote (gAl)	Energy consumida por kg metal (kWh/kg)	Coste energía* por Kg metal (€/kg)	Eficiencia farádica (%)
Al4	933,30	811,97	9,46	1,13	115,2

- Coste de kwh: 0,12 €

3.2. Tratamiento de aguas residuales

3.2.1. Agua residual industrial

3.2.1.1. Coagulante base Al

- Volumen total de agua tratada: 6.7 m³
- Nº de lotes: 4
- Consumo total de Coagulante: 432.1 L
- Dosis de Al: 50 mg/L
- Resultados

Tabla 10. Tratamiento de agua residual industrial con coagulante base Al fabricado con ELS

Parametro	Límite Max 1	Límite Max 2	Entrada	Salida*	Rendimiento* η (%)
pH (u pH)	5,5	9,0	7,1	8,7	-
Cond. (μ S/cm)	3.000	5.000	2.212	4.939	-
Cu (mg/L)	1	3	58,5	0,61	98,92
Ni (mg/L)	5	10	4,8	0,34	92,34
Zn (mg/L)	5	10	4,5	0,048	99,06
Cr(VI) (mg/L)	0,5	0,5	0,16	0,01	96,33

*Valor medio

Los valores límite se corresponde con un vertido a alcantarillado según modelo de ordenanza de vertidos a red municipal de saneamiento de EPSAR (Entitat de Sanejament d'Aigües).

Límite máx 1: máxima concentración media diaria.

Límite máx 2: máxima concentración instantánea.

3.2.1.2. Coagulante base Fe

- Volumen total de agua tratada: 10 m³
- Nº de lotes: 7
- Consumo total de Coagulante: 420 L
- Dosis de Fe: 50 mg/L
- Resultados

Tabla 11. Tratamiento de agua residual industrial con coagulante base Fe fabricado con ELS

Parametro	Límite Max 1	Límite Max 2	Entrada*	Salida*	Rendimiento* η (%)
pH (u pH)	5,5	9,0	8,07	8,7	-
Cond. (µs/cm)	3.000	5.000	2.299	4.263	-
Cu (mg/L)	1	3	30,4	0,62	96,55
Ni (mg/L)	5	10	7,1	2,2	69,76
Zn (mg/L)	5	10	2,3	0,059	97,35
Cr (VI) (mg/L)	0,5	0,5	0,11	0,0042	87,62

*Valor medio

Los valores límite se corresponde con un vertido a alcantarillado según modelo de ordenanza de vertidos a red municipal de saneamiento de EPSAR (Entitat de Sanejament d'Aigües).

Límite máx 1: máxima concentración media diaria.

Límite máx 2: máxima concentración instantánea.

3.2.2. Agua residual de EDAR

3.2.2.1. Coagulante base Al

Los ensayos fueron realizados a escala laboratorio mediante test de Jar.

- Dosis de Al: 30 y 50 mg/l
- Resultados

Tabla 12. Testeo de agua residual urbana con coagulante base Al fabricado con ELS.

Parametro	Límite Max	Entrada	Salida Dosis 30 mg/l	Salida Dosis 50 mg/l
pH (u pH)	5,5-9	7,23	7,38	7,43
DQO mg/l	125	39,6	24,8	22,7
P (mg/l)	2	4,00	0,49	0,12
Turbidez (NTU)	---	14,80	3,97	5,06
Cond. (µs/cm)	---	1.928	3.149	3.957

El valor límite máximo se corresponde con un vertido a dominio público hidráulico.

3.3. Consumos y residuos

A continuación, se muestra una comparativa de consumos de reactivos, energía y gestión de residuos entre el sistema de coagulación convencional empleado en la aplicación industrial y el sistema electroquímicos (ELS) de producción de coagulante empleando salmueras como materia prima. Los datos están referidos a cantidades por m³ de vertido.

Tabla 13. Comparativa de consumos entre coagulación convencional y con sistema ELS

Reactivos	Coagulación convencional	Sistema electroquímico ELS
	kg/m ³	Kg/m ³
NaOH 20 % ^{*(1)}		0,0013
Ca(OH) ₂ ^{*(2)}	0,29	
Energía		
	kWh/m ³	kWh/m ³
Motores y bombas ^{*(6)}	3,99	3,66
Gestión		
	l-kg /m ³	l-kg /m ³
Lodo ^{*(8)}	1,61	0,78
Salmuera ^{*(9)}	0,001	0,0003

^{*(1)} Alkali usado para incremento de pH

^{*(6)} Consumo energético de motores y bombas

^{*(8)} Gestión de lodos generados en ambos procesos. El convencional es un dato real. En la tecnología ELS se ha estimado a partir del volumen de lodos generados (18 mL/l_{vertido}) después del tratamiento, considerando un 1 % de sólidos, y 30 % de sequedad en el lodo final deshidratado.

^{*(9)} Gestión de salmueras. Esta cantidad es variable según la actividad industrial, dependiendo de las necesidades de agua desmineralizada.

4. CONCLUSIONES

El sistema electroquímico (ELS), basado en la electrocoagulación, permite obtener coagulantes base Fe y Al mediante valorización de salmueras y residuos metálicos.

La calidad de los coagulantes es suficiente para su uso como reactivos de tratamiento de aguas residuales, alcanzando los valores límite de vertido standard.

Comparado la tecnología ELS con el sistema convencional de coagulación utilizado en la aplicación industrial, las conclusiones más relevantes son las siguientes:

- La tecnología ELS tiene medioambientalmente tres ventajas relevantes:
 - o Evita el consumo recursos fósiles ya que utiliza para la producción de coagulante materias primas secundarias: salmueras y metales.
 - o Evita el transporte asociado al consumo de reactivo comercial. Adicionalmente no hay manipulación de reactivos peligrosos.
 - o En la aplicación industrial estudiada, los consumos de reactivos y energía son similares, siendo relevante la reducción en el ámbito de la gestión de residuos, tanto de lodos como de salmueras en ambos
- La concentración de los coagulantes fabricados es inferior a los comerciales, debiendo dosificar volúmenes mayores para una misma dosis de Fe y/o Al.
- La conductividad del agua residual donde se aplica el coagulante debe controlarse para evitar elevados incrementos. A su vez, estos incrementos pueden minimizarse mediante la fabricación de coagulantes con valores de concentración en el rango alto de la tecnología.

Agradecimientos

Se agradece a la Comisión Europea por la financiación del proyecto LIFE Waste2Coag titulado “Brine and metal wastes valorisation to produce coagulants for wastewater treatment” en el marco del programa LIFE2020 (GA No. LIFE20 ENV/ES/000430). Las opiniones o puntos de vista publicados en este documento no representan la posición oficial de la Comisión Europea. Los autores también agradecen a la entidad pública de saneamiento de aguas (EPSAR), adscrita a la consejería de agricultura, desarrollo rural, clima y transición ecológica, propietaria de la EDAR donde se han realizado parte de los ensayos de este trabajo.

Bibliografía

- (1) Panagopoulos, A., & Haralambous, K.-J. (2020). Environmental impacts of desalination and brine treatment - Challenges and mitigation measures. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 1117
- (2) Zarzo, D. (2018). Beneficial uses and valorization of reverse osmosis brines. *Emerging Technologies for Sustainable Desalination Handbook*. Butterworth-Heinemann. Pages 365-397. ISBN 9780128158180
- (3) Keeley, J., Jarvis, P., & Judd, S. J. (2014). Coagulant Recovery from Water Treatment Residuals: A Review of Applicable Technologies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(24), 2675–2719. doi:10.1080/10643389.2013.829766 y estimaciones del autor.
- (4) <https://www.incopa.org/news/incopa-publishes-an-updated-lca-study-with-ivl/>