

ANEXO I Comunicación-Póster

La realización de este trabajo dio cabida a la presentación de una comunicación-póster en el 7º Congreso Internacional de la ANQUE, Ciclo Integral del Agua: Presente y futuro, celebrado en Oviedo desde el 13 al 16 de Junio de 2010.

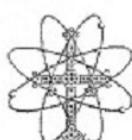
INTEGRAL WATER CYCLE: PRESENT AND FUTURE
"A SHARED COMMITMENT"

**VII ANQUE INTERNATIONAL
CONGRESS**

13th-16th June 2010, Oviedo (Spain)

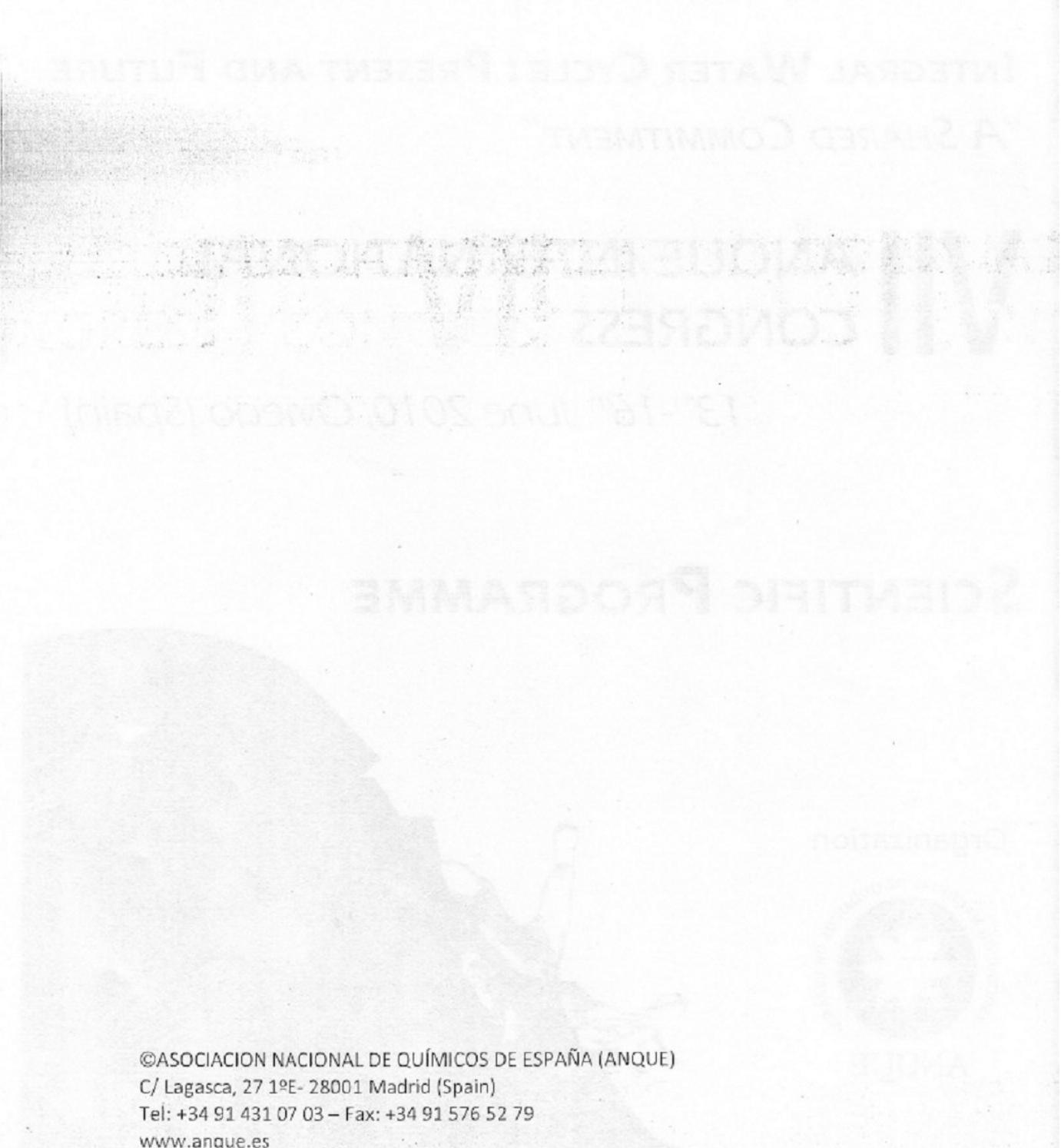
SCIENTIFIC PROGRAMME

Organization



CHEMIST ASSOCIATION OF ASTURIAS

www.anque2010.org



©ASOCIACION NACIONAL DE QUÍMICOS DE ESPAÑA (ANQUE)
C/ Lagasca, 27 1ºE- 28001 Madrid (Spain)
Tel: +34 91 431 07 03 – Fax: +34 91 576 52 79
www.anque.es

Printed by Huella Digital, SL
Pol. El Portazgo, nave 62 A-50011 Zaragoza (Spain)
ISBN: 978-84-693-2257-4
D.L.: Z-2061/2010
Mayo 2010

T5-030	<p>"REDUCTION OF EXCESS SLUDGE PRODUCTION IN ACTIVATED SLUDGE PROCESS BY INTERMITTENT AERATION"</p> <p>Rodríguez-Pérez, S.¹, Arnáiz, C.¹, Gutiérrez, J.C.², Díaz, E.¹ ¹Chemical and Environmental Engineering Department (University of Sevilla) (ES); ²Biochemistry Engineering and Molecular Biology Department (Pablo de Olavide University) (ES)</p>
T5-031	<p>"WATER RECLAMATION BY MEANS OF CHEMICAL PRECIPITATION AND FENTON PROCESS"</p> <p>Matesanz, J.M., Abad, F., Mosteo, R., Sarasa, J., Ormad, M.P., Department of Chemical Engineering and Environmental Technologies (University of Zaragoza) (ES)</p>
T5-032	<p>"STUDY OF THE DEGRADATION OF PRIORITY POLLUTANTS PRESENT IN MWTPS EFFLUENTS BY OZONE AND UV RADIATION"</p> <p>Sarasa, J., García, I., Pedro, T., Ormad, M.P., Ovelleiro, J.L., Department of Chemical Engineering and Environmental Technologies (University of Zaragoza) (ES)</p>
T5-033	<p>"ASSESSMENT OF THE DECENTRALISED TREATMENT OF WASTEWATERS FROM RURAL AREAS BY THE MBR TECHNOLOGY"</p> <p>Ibáñez, R.¹, Zamacona, S.¹, Rivero, M.J.¹, Gómez, P.², Urtiaga, A.¹, Ortiz, I.¹ ¹Chemical Engineering Department (University of Cantabria) (ES); ²APRIA-SYSTEMS Ltd. (ES)</p>
T5-034	<p>"DENITRIFICATION OF WATER WITH ACTIVATED CARBON-SUPPORTED METALLIC CATALYSTS"</p> <p>Calvo, L., Gilarranz, M.A., Casas, J.A., Mohedano, A.F., Rodríguez, J.J., Chemical Engineering Unit (Autonomous University of Madrid) (ES)</p>
T5-035	<p>"EVALUATION OF OZONATION RATE CONSTANTS. HOMOGENEOUS EXPERIMENTS AT VARIABLE VOLUME"</p> <p>Sagasti, J., Encinas, A., Beltran, F., Gimeno, O., Rivas, F.J., Chemical Engineering and Physical Chemistry Department (University of Extremadura) (ES)</p>
T5-036	<p>"A COMPARISON OF THE EFFECTS OF SOME ADVANCED OXIDATION PROCESSES TO REMOVE MIXTURES OF PHARMACEUTICAL COMPOUNDS FROM WATER"</p> <p>Encinas, A., Gimeno, O., Rivas, F.J., Beltran, F.J., Chemical Engineering and Physical Chemistry Department (University of Extremadura) (ES)</p>
T5-037	<p>"INFLUENCE OF SLUDGE CHARACTERISTICS ON MEMBRANE FOULING"</p> <p>Delgado, S., Villarroel, R., González, E., Morales, M., Department of Chemical Engineering (University of La Laguna) (ES)</p>
T5-038	<p>"DISINFECTION OF A WASTEWATER FLOW TREATED BY ADVANCED PRIMARY TREATMENT USING O₃, UV AND O₃/UV COMBINATIONS"</p> <p>Bustos, Y., Vaca, M., Torres, L., Energy Department (Autonomous Metropolitan University) (MX)</p>
T5-039	<p>"NON CONVENTIONAL POLLUTANTS IN SPANISH WASTEWATER"</p> <p>Marín, R.^{1,2}, Martín, M.A.¹, Martín, A.¹ ¹Department of Inorganic Chemistry and Chemical Engineering (University of Córdoba) (ES); ²EMACSA (ES)</p>

WATER RECLAMATION BY MEANS OF CHEMICAL PRECIPITATION AND FENTON PROCESS

Matesanz, J.M.*; Abad, F.; Mosteo, R.; Sarasa, J.; Ormad, M.P.

Department of Chemical Engineering and Environmental Technologies,
University of Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza, Spain.

*e-mail: matesanz@unizar.es

Topic T 5.3: Advanced treatments and obtaining of reclaimed water

The urban wastewaters treated by wastewater treatment plants (WWTPs) have to be submitted to wastewater reclamation process in order to be able to be reused. These waters have a lot of pathogens, hazardous and no hazardous organic matter, suspension matter, inorganic pollutants and high turbidity [1, 2]. The pollution presents in the treated wastewaters has to be removed by means of the wastewater reclamation process, observing the current Spanish law (RD 1620/2007, related to regulation of reused wastewaters [3]).

Water reclamation and non potable reuse typically require conventional water and wastewater treatment technologies that are already widely practiced and readily available in many countries throughout the world [4]. The disinfection of wastewaters is usually carried out by ultraviolet radiation and/or chlorination, although, these techniques have some drawbacks. In this sense, advanced oxidation processes, which are based on the radicals generation, can be considered an applicable alternative in water treatments.

The main objectives of this research work are the following:

- Application of different coagulants (iron and aluminium salts) in the chemical precipitation process in order to know the best coagulant respect to the quality of treated water.
- Sequential chemical precipitation-Fenton process for water reclamation.

The synthetic samples used in this research work are obtained using an activated sludge pilot-scale plant, which is located in the laboratory of Environmental Technologies at the University of Zaragoza (Spain). These samples simulate adequately treated urban wastewaters and the main features are shown in table 1.

Table 1. Main features of synthetic treated urban wastewaters

pH	COD _s (mgO ₂ /l)	Turbidity (NTU)	TSS (mg/l)
8.5	75	26.9	17

Parameters analyzed in this study are the turbidity, the soluble chemical oxygen demand (COD_s), the suspended solids and the dissolved iron. Turbidity is measured by turbidity-meter Hanna LP 2000 (in accordance with the norm ISO 7027:1999). COD_s, dissolved

iron and total suspended solids are measured by a multiparametric photometer Hanna HI 83099 (in accordance with EPA Methods).

Coagulation-flocculation-decantation experiments are carried out using a Jar-Test to first produce rapid agitation (200 rpm) for 5 min, during which time destabilization of the colloids occurred. After that slow agitation (40 rpm) took place for 20 min, thus allowing the formation of flocs and their later decantation after 2 h [5]. The coagulant doses are in the range of 50 – 150 mg/l.

The coagulants used in this study are described below:

- Commercial $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
- $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: This coagulant is prepared using wastes of aluminium analyzers as raw material.
- Commercial FeCl_3 .

The main results obtained with the chemical precipitation using different coagulant and applied to treat urban wastewaters are the following:

- The CODs and turbidity removal are in the range of 20-50% and 80-100% respectively.
- The iron salts produces better results than aluminium salts.
- The use of FeCl_3 as coagulant using a dosage of 100 mg/l produces the best CODs and turbidity removal.

The combined treatment composed by coagulation-flocculation followed by Fenton process is only carried out in the case of using iron salts as coagulant in chemical precipitation. Preliminaries studies show that the dissolved iron coming from coagulant (close to 2 mg Fe/l) is enough to produce Fenton reaction using 25 mg H_2O_2 / l and 30 min of reaction time.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank the Department of Universities and Research at the Spanish Ministry of Science and Innovation, the Regional Government of Aragon and "Fundación Caixa Catalunya" for financing this research through the project "Regeneración de aguas depuradas mediante procesos de oxidación avanzada (CTM2008-01876/TECNO)".

REFERENCES

1. Katsoyiannis and Samara (2006). Water Res. 38, 2685-2698.
2. Kuster et al. (2008). J. Hydrology 358 (1-2), 112-123.
3. Royal Decree 1620/2007, 7 of December of 2007, about the legal regulation of the treated waters reuse.
4. Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-04/108. August 2004.
5. Mosteo et al. (2009). J. Hazard Mater. 172, 661-666. -



WATER RECLAMATION BY MEANS OF CHEMICAL PRECIPITATION AND FENTON PROCESS



J.M. Matesanz, F. Abad, R. Mosteo, J. Sarasa, M.P. Ormad,

Department of Chemical Engineering and Environmental Technologies, University of Zaragoza, Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza, Spain. (E-mail: matesanz@unizar.es)

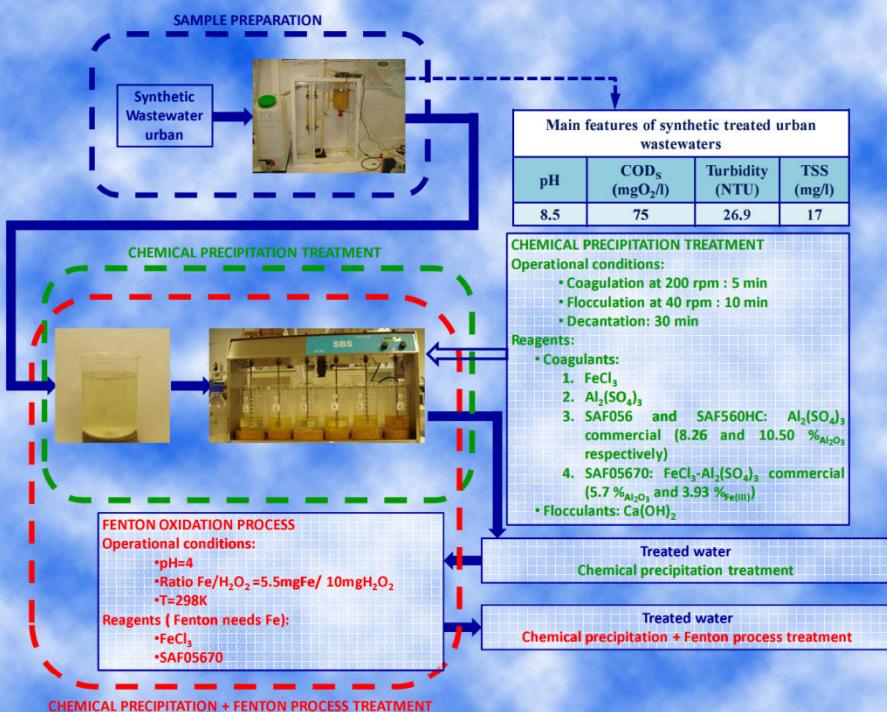
INTRODUCTION

The urban wastewaters treated by wastewater treatment plants (WWTPs) have to be submitted to wastewater reclamation process in order to be able to be reused. These waters have a lot of pathogens, germs, hazardous and no hazardous organic matter, suspension matter, inorganic pollutants and high turbidity. The pollution presents in the treated wastewaters has to be removed by means of the wastewater reclamation process, observing the current Spanish law (RD 1620/2007, related to regulation of reused wastewaters). The main objectives are:

- Application of different coagulants (iron and aluminium salts) in the chemical precipitation process in order to know the best coagulant respect to the quality of treated water.
- Sequential chemical precipitation-Fenton process for water reclamation

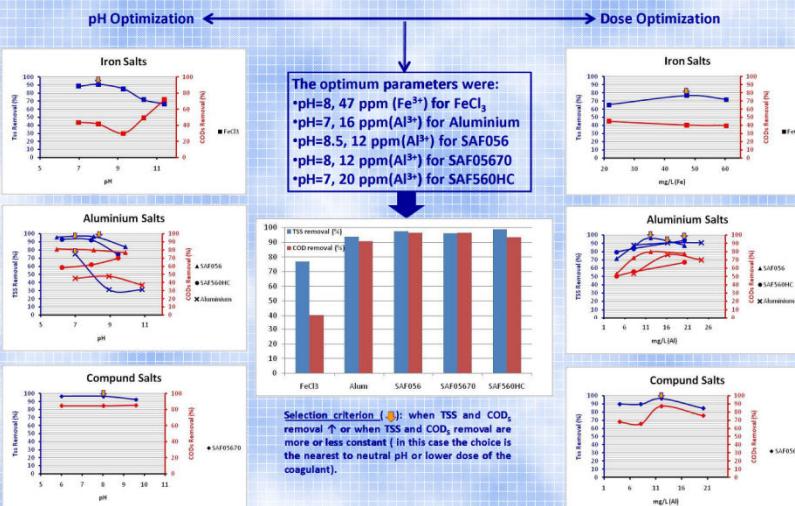
ANALYTICAL METHODS		
Parameter	Equipment	Norm
COD _o (mgO ₂ /L)	multiparametric photometer Hanna HI 83099	in accordance with EPA Methods
TSS (mg/L)	Hanna HI 83099	
Dissolved iron (mgFe/L)	Total Organic Carbon Analyzer Shimadzu, model TOC-V _{CSH}	Standar Method 5310 B
TOC (mgC/L)	Total Organic Carbon Analyzer Shimadzu, model TOC-V _{CSH}	Standar Method 5310 B

EXPERIMENTAL PROCEDURE



EXPERIMENTAL RESULTS

Coagulation/Flocculation/Decantation treatment



Fenton process

FeCl ₃		
Parameter	Initial time	After 30 min
pH	4.03	2.93
H ₂ O ₂ (mg/L)	10	1
Fe (mg/L)	5.7	3.95
TSS (mg/L)	5	0
TOC removal Fenton process (%)	0	33.73
TOC removal complete process (%)	0	57.03

SAFO5670		
Parameter	Initial time	After 30 min
pH	4.06	4.17
H ₂ O ₂ (mg/L)	10	1
Fe (mg/L)	5.6	4.9
TSS (mg/L)	8	3
TOC removal Fenton process (%)	0	32.53
TOC removal complete process (%)	0	38.16

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank

- the Department of Universities and Research at the Spanish Ministry of Science and Innovation, the Regional Government of Aragon and "Fundación Caixa Catalunya" for financing this research through the project "Regeneración de aguas depuradas mediante procesos de oxidación avanzada (CTM2008-01876/TECNO)"
- R & D team of SAFLCO SL: Nuria Lopez and Luis Antonio Ibanez by provide the three commercial coagulants.

SOME REFERENCES

- Katsiouri and Samara (2006). Water Res. 38, 2685-2698.
- Kuster et al. (2008). J. Hydrology 358 (1-2), 112-123.
- Royal Decree 1620/2007, 7 of December of 2007, about the legal regulation of the treated waters reuse.
- Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-04/108. August 2004.
- Mosteo et al. (2009). J. Hazard Mater. 172, 661-666.

Anexo II Ejemplos de reutilización de agua residual urbana depurada en España

Dos ejemplos del uso de aguas regeneradas (De Bustamante et al. 2010) son el uso como barrera hidráulica contra la intrusión salina en el acuífero del Llobregat y el riego de campos de golf en las Islas Canarias. Aunque existen otros ejemplos importantes en España como el uso en riegos de cultivos destinados a biomasa en Andalucía,...

1.1.- Barrera hidráulica contra la intrusión salina en el acuífero del Llobregat.

Uno de los principales usos de las aguas regeneradas de la planta del Baix Llobregat es la formación de una barrera hidráulica contra la intrusión salina, para preservar el acuífero del Llobregat (Plan Estratégico Metropolitano de Barcelona 2010).

El caudal de diseño para este uso es de 15.000 m³/día, dividido en dos etapas: la primera de 5.000 m³/día y la segunda del resto del caudal.

Los tratamientos de la planta de regeneración destinados a la barrera contra la intrusión salina son de coagulación-flocculación, decantación, filtración, proceso de desinfección, ultrafiltración y ósmosis inversa.

Los resultados de la primera etapa han sido satisfactorios y se ha conseguido reducir la salinidad del acuífero. Durante el 2008 se iniciaron las obras asociadas a la segunda fase (conducción y pozos), con un presupuesto de 7,5 M €.

Datos identificativos (12 de Septiembre de 2008):

Caudal de diseño: 15.000 m³/día.

Inversión total: 14 M €.

Se ha controlado la presencia de 170 compuestos emergentes, prioritarios y metales pesados considerados de interés en muestras de agua procedentes de la depuradora, aguas regeneradas para inyección y pozos del acuífero.

Los contaminantes emergentes constituyen un grupo de compuestos químicos de origen muy diverso caracterizados por su elevada producción y consumo, lo que comporta su continua presencia en el medio ambiente, por lo que no necesitan ser persistentes para ocasionar efectos negativos.

Se incluyen en este grupo fármacos, productos de diagnóstico, esteroides, hormonas, antisépticos, productos para el cuidado personal (protectores solares, fragancias,...), aditivos de gasolina,... En general no son volátiles ni acumulativos, pero dado el carácter continuo de inyección del agua se convierten en contaminantes persistentes. Los efectos que pueden producir en el hombre y en la biota son desconocidos.

Sin embargo, una vez sometida el agua a ultrafiltración, ósmosis inversa y desinfección ultravioleta la mayoría son eliminados. Solo 11 compuestos se detectan en concentración superior a 0,1 µg/L, aunque siempre en concentración inferior al del efluente. Los resultados obtenidos evidencian que el tratamiento final al que se somete al agua procedente del terciario produce un agua regenerada de gran calidad apta para su inyección en la barrera hidráulica.

1.2.- Riego de campos de golf en Canarias

La reutilización de las aguas depuradas (Gobierno de Canarias 2006) constituye un elemento estratégico en el desarrollo de la economía canaria, asentada fundamentalmente en la agricultura de exportación y el turismo, al permitir un incremento sustancial de los recursos hidráulicos disponibles.

El agua depurada puede utilizarse en agricultura, riego de parques y jardines, campos de golf, industrias, etc. gracias al desarrollo de la red de distribución de agua regenerada. El Gobierno de Canarias está ejecutando obras que permitan canalizar el agua depurada desde los núcleos urbanos de producción hacia las zonas rurales, turísticas e industriales donde existe mayor demanda.

En las islas canarias la reutilización de aguas depuradas para riego es una práctica utilizada desde finales de los años 60. En la actualidad, supone el 8% de los recursos hídricos en la isla y se han implementado tratamientos terciarios con desalinización por ósmosis inversa así como una importante infraestructura para la distribución del agua regenerada por la isla.

Un importante caso de reutilización de aguas regeneradas es el del riego del Campo de Golf de Bandama.

ANEXO III Criterios de calidad para la reutilización de aguas según sus usos

En el Real Decreto 1620/2007 de de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, se establecen unos criterios de calidad a cumplir atendiendo a los distintos usos que se les vaya a dar al agua (RD 1620/2007).

Esto puede observarse en el siguiente fragmento extraído del Real Decreto 1620/2007 de 7 de Diciembre.

ANEXO I.A: CRITERIOS DE CALIDAD PARA LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS SEGÚN SUS USOS

CALIDAD REQUERIDA

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)			
	NEFATÓDOS INTESTINALES ¹	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	OTROS CRITERIOS
1.- USOS URBANOS				
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL ²				
a) Riego de jardines privados. ³	1 huevo/10 L	0 (UFC ⁴ /100 mL)	10 mg/L	2 UNT ⁵
b) Descarga de aparatos sanitarios. ³				
CALIDAD 1.2: SERVICIOS				
a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). ⁹	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT
b) Baldeo de cales. ⁹				
c) Sistemas contra incendios. ⁹				
d) Lavado industrial de vehículos. ⁹				

¹ Considerar en todos los grupos de calidad al menos los géneros: *Ancylostoma*, *Trichuris* y *Ascaris*.² Deben someterse a controles que aseguren el correcto mantenimiento de las instalaciones.³ Su autorización estará condicionada a la obligatoriedad de la presencia doble circuito señalizado en todos sus tramos hasta el punto de uso⁴ Unidades Formadoras de Coloniás.⁵ Unidades Nefelométricas de Turbiedad.⁶ ver el Anexo I del RD 849/1986, de 11 de abril.⁷ ver Anexo IV del RD 907/2007, de 6 de julio.⁸ Norma de calidad ambiental ver el artículo 245.5.a del RD 849/1986, de 11 de abril, modificado por el RD 606/2003 de 23 de mayo.⁹ Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, esos usos no serán autorizados

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	
2.- USOS AGRICOLAS¹					
CALIDAD 2. ²					OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido de aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella spp.</i> 1.000 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización) Es obligatorio llevar a cabo la detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=1.000
a) Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.	1 huevo/10 L	100 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases ³ con los siguientes valores: n = 10 m = 100 UFC/100 mL M = 1.000 UFC/100 mL c = 3	20 mg/L	10 UNT	

¹ Características del agua regenerada que requieren información adicional: Conductividad 3.0 dS/m · Relación de Adsorción de Sodio (RAS): 6 meq/L; Boro: 0.5 mg/L; Boro: 0.1 mg/L; Arsénico: 0.1 mg/L; Berilio: 0.1 mg/L; Cadmio: 0.01 mg/L; Cobalto: 0.05 mg/L; Cromo: 0.1 mg/L; Cobre: 0.2 mg/L; Manganeso: 0.2 mg/L; Molibdeno: 0.01 mg/L; Níquel: 0.2 mg/L; Selenio: 0.02 mg/L; Vanadio: 0.1 mg/L. Para el cálculo de RAS se utilizará la fórmula:

$$RAS(\text{meq/L}) = \frac{[\text{Na}]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}] + [\text{Mg}]}{2}}}$$

² Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, esos usos no serán autorizados

³ Siendo n: nº de unidades de la muestra; m: valor límite admisible para el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.

USO DEL AGUA PREVISTO		VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)		
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSION	TURBIDEZ
CALIDAD 2.2				
a) Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior.	1 huevo/10 L	1.000 UFC/100 mL Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 dases ¹ con los siguientes valores: n = 10 m = 1.000 UFC/100 mL M = 10.000 UFC/100 mL c = 3	35 mg/L	No se fija límite
b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne.				
c) Acuicultura.				
CALIDAD 2.3				
a) Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana.	1 huevo/10 L	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite
b) Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones.				
c) Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes, ensilados, cereales y oleaginosas.				

¹ Siendo n: nº de unidades de la muestra; m: valor límite admisible para el recuento de bacterias; M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
3.- USOS INDUSTRIALES					
CALIDAD 3.1 ¹					
a) Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria.	No se fija límite	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	15 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs <i>Legionella spp.</i> : 100 UFC/L
b) Otros usos industriales.		1.000 UFC/100 mL			OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. <i>Legionella spp.</i> : 100 UFC/L
c) Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria	1 huevo/10 L	Teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases ² con los siguientes valores: n = 10 m = 1.000 UFC/100 mL M = 10.000 UFC/100 mL c = 3	35 mg/L	No se fija límite	Es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/Ausencia (<i>Salmonella</i> , etc.) cuando se repita habitualmente que c=3 para M=10.000 <i>Legionella spp.</i> : Ausencia UFC/L Para su autorización se requerirá: <ul style="list-style-type: none">- La aprobación, por la autoridad sanitaria, del Programa específico de control de las instalaciones contemplado en el Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.- Uso exclusivamente industrial y en localizaciones que no estén ubicadas en zonas urbanas ni cerca de lugares con actividad pública o comercial.
CALIDAD 3.2					
a) Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.	1 huevo/10 L	Ausencia UFC/100 mL	5 mg/L	1 UNT	

¹ Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, esos usos no serán autorizados

² Siendo n: nº de unidades de la muestra; m: valor límite admisible para el recuento de bacterias; c: número máximo de unidades de muestras de bacterias; M: valor máximo permitido para el recuento de bacterias.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSION	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
4.- USOS RECREATIVOS					
CALIDAD 4.1 ¹					OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.
a) Riego de campos de golf.	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	Si el riego se aplica directamente a la zona del suelo (gota, microaspersión) se fijan los criterios del grupo de Calidad 2.3 <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 4.2					OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.
a) Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.	No se fija límite	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite P_T : 2 mg P/L (en agua estancada)	

¹ Cuando exista un uso con posibilidad de aerosolización del agua, es imprescindible seguir las condiciones de uso que señale, para cada caso, la autoridad sanitaria, sin las cuales, esos usos no serán autorizados

USO DEL AGUA PREVISTO		VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
		NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
5.- USOS AMBIENTALES						
CALIDAD 5.1		No se fija límite	1.000 UFC/100 mL	35 mg/L	No se fija límite	N_T^1 : 10 mg NL NO_3 : 25 mg NO_3/L
a) Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.						
CALIDAD 5.2	a) Recarga de acuíferos por inyección directa.	1 huevo/10 L	0 UFC/100 mL	10 mg/L	2 UNT	Art. 257 a 259 del RD 849/1986
CALIDAD 5.3	a) Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público. b) Silvicultura.	No se fija límite	No se fija límite	35 mg/L	No se fija límite	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs.
CALIDAD 5.4	a) Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares).					La calidad mínima requerida se estudiará caso por caso

¹ Nitrógeno total, suma del nitrógeno inorgánico y orgánico presente en la muestra

Anexo IV Tratamiento biológico

El agua residual urbana sintética es pasada por la planta depuradora con un caudal de aproximadamente 1 L/h para su óptima depuración. En la figura XI se puede observar un esquema de la planta depuradora.

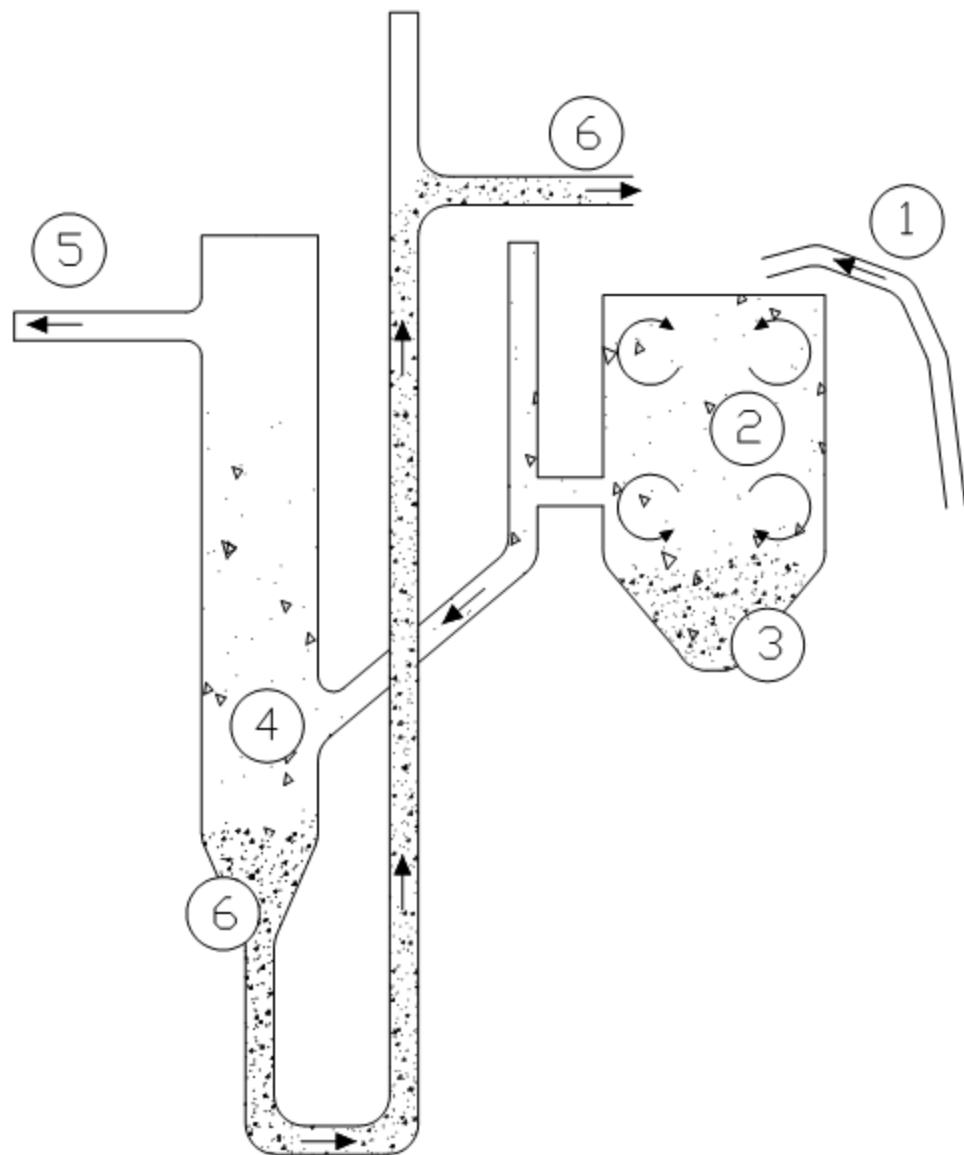


Figura XI planta depuradora de laboratorio

- 1.- Se produce la alimentación del agua residual doméstica sintética por medio de una bomba calibrada a un caudal de 1 L/h.
- 2.- En el reactor biológico (reactor de mezcla perfecta) se lleva a cabo el proceso de depuración con lodos activos.

3.- Como los lodos necesitan aire y además tienden a sedimentar por la mayor densidad que el agua, hay instalados uno aireadores en 2 que aportan el O₂ necesario y vitan también la aglomeración en el fondo.

4.- El agua depurada pasa hasta el sedimentador en el cual quedan arriba el agua clarificada y abajo los lodos.

5.- El agua clarificada es recogida, obteniéndose así la muestra.

6.- Los lodos se recirculan al reactor biológico (2) con ayuda de un aireador situado en la parte más baja de la conexión entre el sedimentador y la realimentación de lodos al reactor biológico.

2.1.- Factores que afectan a la muestra final

Aunque anteriormente se han mencionado unos valores medios de las características finales del agua residual urbana depurada obtenida en la planta depuradora, el agua obtenida no es la misma en cada tanta de 25 L. Esto es debido a una serie de factores que afectan al proceso de depuración.

2.1.1.- Factores de equipo

La salida de lodos del sedimentador puede obstruirse evitando la recirculación de estos y por lo tanto se producen tanto un déficit de estos en el reactor como un exceso en el sedimentador. Por lo tanto la calidad del agua depurada no será la misma y además el agua clarificada de salida contendrá más sólidos en suspensión (y por lo tanto más DQO y turbidez).

2.1.2.- Factores humanos

La preparación del agua residual urbana sintética es llevada a cabo por muchas personas por lo que la forma de fabricar el agua residual urbana puede variar debido a diferentes acciones:

El recipiente en el que se crea el agua residual urbana sintética no es limpiado o vaciado del todo (si quedan restos del agua anterior), por lo tanto las concentraciones de los distintos productos varía.

Pesado de los productos en distintas balanzas (con distinta precisión) o simplemente se pesan cantidades muy aproximadas (por lo que nunca serán las mismas).

2.1.3.- Factores biológicos

Se está ante una reacción biológica que por lo tanto es llevada a cabo por organismos vivos, viéndose estos afectados por distintos parámetros (Metcalf 1995):

- Temperatura: Ante la imposibilidad de controlar la temperatura del laboratorio, esta puede variar en el proceso de depuración de cada tanta de 25L. La temperatura no solo influye en las actividades metabólicas de la población sino que también tiene efecto sobre factores tales como la velocidad de transferencia de gases y sobre las características de sedimentación de sólidos biológicos.

- Efectos del metabolismo endógeno: La distribución de edades de las células es tal que no todas están en fase de crecimiento exponencial por lo tanto la energía necesaria puede variar, además existen otros factores a tener en cuenta como la muerte y la depredación.

ANEXO V Reactivos

Los reactivos utilizados a lo largo de todos los experimentos son los siguientes.

1.1.- Coagulantes

1.1.1.- *FeCl₃*

Este coagulante fue preparado en el laboratorio. Se pesaron 10.005 gramos de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ Probus con una riqueza del 98% y se diluyeron en 1 L de agua miliq, obteniéndose una disolución de FeCl_3 de 2026 ppm de Fe^{3+} o 10000 ppm de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

1.1.2.- *Al₂(SO₄)₃*

Este coagulante fue preparado en el laboratorio. Se pesaron 10.061 gramos de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ Scharlau extrapuro y se diluyeron en 1 L de agua miliq, obteniéndose una disolución de 10000 ppm de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$.

1.1.3.- *SAF056*

Se trata de un coagulante de la casa SAFLOC.S.L formado por sulfato de alúmina con una concentración 8.3% de Al_2O_3 total. Dada la excesiva densidad de este y la dificultad de trabajar con él, se llevo a cabo una dilución 5:250, con una concentración final de sulfato de aluminio de 14306 ppm.

1.1.4.- *SAF05670*

Se trata de un coagulante de la casa SAFLOC.S.L formado por sulfato de alúmina y cloruro férrico con una concentración 5.7% Al_2O_3 total y de 3.93% de Fe^{3+} . Dada la excesiva densidad de este y la dificultad de trabajar con él, se llevo a cabo una dilución 10:250, con una concentración final de sulfato de aluminio de 18910 ppm sin tener en cuenta el Fe^{3+} .

1.1.5.- *SAF560HC*

Se trata de un coagulante de la casa SAFLOC.S.L formado por sulfato de aluminio con una concentración de 10% de Al_2O_3 total. Dada la excesiva densidad de este y la dificultad de trabajar con él, se llevo a cabo una dilución 10:250, con una concentración final de sulfato de aluminio de 36600 ppm.

1.2.- Otros

Se utilizó:

- $\text{Ca}(\text{OH})_2$ de la casa Panreac con un 90% de riqueza, para preparar lechadas de cal.
- Ácido sulfúrico con un 98% de riqueza.
- Peróxido de hidrógeno con un 30% de riqueza (p/v)

1.3.- Fichas técnicas

**1. DEFINICIÓN**

- Nombre: Sulfato de aluminio, Alúmina.
- Peso molecular: 342.
- Fórmula química: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
- Descripción: disolución acuosa cercana a la saturación, (aproximadamente 50%). Deberá de ser lo bastante transparente para permitir los mecanismos de medida de flujo sin dificultad.

2. APLICACIONES

- Se utiliza como coagulante.

3. COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS.

- Composición:

Al_2O_3 total:	8.2-8.3%
Al_2O_3 libre:	0.2% (máximo)
Fe:	200 ppm (max)
Otros metales (Cu, Ni, Zn, Mn):	300 ppm (max)
Insolubles:	-

- Características físico – químicas:

Aspecto:	Líquido amarillento
T° fusión:	-
T° cristalización:	-10°C
Densidad a 20°C:	1.33 ± 0.01g/cm ³
pH:	2.00 ± 0.5, puro. 3.6 solución al 1%

4. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

- Manipulación: los trasvases se realizarán, desde y a través de elementos (depósitos, tuberías, etc.), cuyos materiales serán los reseñados en el punto siguiente.
- Almacenamiento: almacenamiento ilimitado, siempre que no se exponga a bajas temperaturas. Los materiales a utilizar son: poliéster-fibra de vidrio, acero inoxidable, depósitos ebonitados o recubiertos de PVC. Las tuberías de trasiego podrán ser de este mismo material.

5. ENVASADO Y TRANSPORTE

La alúmina líquida puede ser transportada en contenedores, tanques o cisternas. Se recomienda que las cisternas usadas en zonas donde la temperatura ambiente está por debajo de los 15°C, estén provistas de un sistema de aislamiento.

Los datos indicados en esta Ficha Técnica son solamente para información y corresponden a nuestros conocimientos actuales, no representando una garantía de las propiedades. El receptor de nuestro producto deberá de observar, bajo su responsabilidad, las reglamentaciones y normativas en cada momento.

Realización:

Revisión y Aprobación:

Fecha:

**1. DEFINICIÓN**

- **Nombre:** Coagulante base Sulfato de aluminio de alta concentración
- **Descripción:** disolución base sulfato de aluminio de totalidad amarillenta

2. APLICACIONES

Se utiliza como coagulante.

3. COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICO – QUÍMICAS.

- **Composición:**

Al₂O₃ total:	10,00 ± 0,50
Fe:	200ppm (máximo)
Insolubles:	-

- **Características físico – químicas:**

Aspecto:	Líquido amarillento
T^a fusión:	-
T^a cristalización:	-10°C
Densidad a 20°C:	1.40 ± 0.01g/cm ³
pH:	1.5 ± 0.5, puro.

4. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

- **Manipulación:** los trasvases se realizaran, desde y a través de elementos (depósitos, tuberías, etc.), cuyos materiales serán los reseñados en el punto siguiente.
- **Almacenamiento:** almacenamiento ilimitado, siempre que no se exponga a bajas temperaturas. Los materiales a utilizar son: poliéster-fibra de vidrio, acero inoxidable, depósitos ebotinados o recubiertos de PVC. Las tuberías de trasiego podrán ser de este mismo material.

5. ENVASADO Y TRANSPORTE.

Este producto puede ser transportado en contenedores, tanques o cisternas. Se recomienda que las cisternas usadas en zonas donde la temperatura ambiente está por debajo de los 15°C, estén provistas de un sistema de aislamiento.

Los datos indicados en esta Ficha Técnica son solamente para información y corresponden a nuestros conocimientos actuales, no representando una garantía de las propiedades. El receptor de nuestro producto deberá de observar, bajo su responsabilidad, las reglamentaciones y normativas en cada momento.

Anexo VI Precipitación química

1.1.- Introducción

La precipitación química en el tratamiento de aguas residuales lleva consigo la adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, facilitando así su eliminación por sedimentación (Metcal 1995). A veces la alteración conseguida es pequeña y la eliminación se produce al quedar atrapados dentro de un precipitado voluminoso y constituido principalmente por el coagulante.

Mediante la precipitación química se pueden conseguir básicamente efluentes clarificados básicamente libres de materia en suspensión o en estado coloidal y se puede llegar a eliminar del 80 al 90 por 100 de los sólidos en suspensión totales y entre el 30 y el 60 por 100 de DQO además de entre el 40 y 70 por 100 de la DBO_5 y entre el 80 y 90 por 100 de bacterias. Estas cifras son orientativas pero contrastan con los valores de rendimientos que se podrían conseguir solo con sedimentación simple que son entre el 50 y 70 por 100 de sólidos en suspensión totales y entre el 30 y el 40 por 100 de materia orgánica.⁷

La precipitación química es utilizada para:

- La eliminación de turbidez orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- La eliminación de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos en otros.

Este tratamiento de aguas es muy importante para la eliminación de suspensiones coloidales ya que estos tienen una serie de características que los hacen bastante estables, es decir tienen una gran capacidad para mantenerse en suspensión. El uso de otro proceso para la eliminación de partículas muy finas, como la sedimentación simple, resultan muy poco económico y en ocasiones imposible, debido al alto tiempo requerido como puede observarse en la tabla XXIII.

La fracción coloidal está compuesta por las partículas de materia de tamaños comprendidos entre 0.001 y 1 micrómetro. Hay que tener en cuenta también que al tratarse de partículas coloidales, puesto que el tamaño es muy pequeño la superficie se incrementa considerablemente aumentando así su capacidad de adsorción. En la tabla XXIV se pueden observar el área específica y el tiempo que les cuesta sedimentar 30 cm a un grupo de partículas con diferentes diámetros provenientes de una partícula de 100 mm de diámetro y con una densidad específica de 2.65 (Barrenechea Martel, A. 2004).

Tabla XXIV Efecto al disminuir el tamaño de las partículas

Diametro de la partícula (mm)	Escala de tamaños	Área superficial total	Tiempo requerido para sedimentar
10	Grava	3.15 cm ²	0.3 s
1	Arena gruesa	31.50 cm ²	3.0 s
0.1	Arena fina	315.00 cm ²	38.0 s
0.01	Sedimento	3150.00 cm ²	33.0 min
0.001	Bacteria	3.15 m ²	55.0 horas
0.0001		31.50 m ²	230.0 días
0.00001	Partícula coloidal	0.283 ha	6.3 años
0.000001		2.83 ha	63.0 años

1.1.1.- Estabilidad coloidal

La estabilidad coloidal está debida a:

- Fuerzas de London-Van der Waals:
- Interacción eléctrica
- Fuerzas de hidratación
- Interacción hidrofóbica:
- Interacción estérica

1.1.1.1.- Fuerzas de London-Van der Waals:

Una fuerza débil de origen eléctrico. Se trata de un factor muy importante, pues es la principal fuerza atractiva entre las partículas coloidales. Estas fuerzas son siempre atractivas y decrecen rápidamente con la distancia. Se deben a la interacción de dipolos permanentes o inducidos en las partículas.

1.1.1.2.- Interacción eléctrica

Carga eléctrica

En el agua, la mayor parte de las partículas y moléculas de sustancias húmicas poseen superficie cargada eléctricamente, usualmente negativa y dependiente de tres procesos:

- Grupos presentes en la superficie sólida: Ya que pueden recibir o donar protones al reaccionar con el agua, por ejemplo óxido insoluble en la superficie como el Si(OH) (figura XII) o Sustancias orgánicas con grupos carboxílicos y aminas (figura XIII).

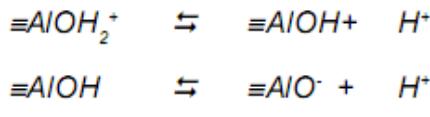
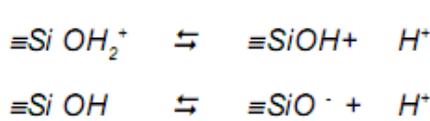


Figura XII Si(OH) y Al(OH) superficial

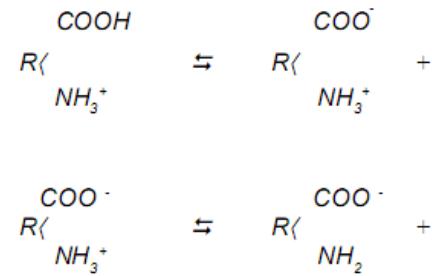
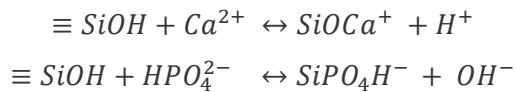


Figura XIII Sustancias orgánicas con grupos carboxílicos y aminas

En todas estas reacciones la carga superficial de la partícula sólida depende de la concentración de protones y por lo tanto del pH. A pH superior a 2 la sílice se torna negativa en el agua mientras que para los grupos carboxílico y amina generalmente presentan valores negativos a pH mayor de 4.

- Grupos superficiales: Ya que pueden reaccionar en el agua con otros solutos además de protones, por ejemplo:



La formación de estos complejos, envuelve reacciones químicas específicas entre los grupos de la superficie de la partícula y solutos absorbidos, son dependientes del pH.

- Imperfecciones de la estructura molecular. En el caso de las arcillas que se encuentran en suspensión en aguas turbias, se puede mencionar la estructura reticular en tetraedro del SiO_4 , pudiendo el átomo Si (+4) ser reemplazado por uno de Al (+3) confiriendo a la estructura reticular carga negativa.

Las partículas coloidales también pueden ser cargadas como resultado de la adsorción de iones de la solución. Por ejemplo, las partículas coloidales de yoduro de plata (AgI) pueden cargarse positiva o negativamente, dependiendo del exceso de iones de plata (Ag^+) o de iones de yoduro (I^-).

Doble capa eléctrica

Un sistema coloidal no presenta carga eléctrica líquida, debido a que la carga negativa de la superficie es balanceada con los iones de carga contraria presentes en el agua.

Puesto que la carga de la superficie de la partícula es negativa, hay un cúmulo de iones positivos en la interfase sólido-líquido que junto con la carga negativa de la partícula forman la doble capa eléctrica o también llamada capa compacta.

Los iones negativos se aproximan a la doble capa y atraen iones positivos, formando así una capa que engloba a la primera y que se llama capa difusa.

Se tiene una capa con una concentración elevada de iones positivos llamada capa de Stern, a partir de la cual se forma la capa difusa, ver figura XIV.

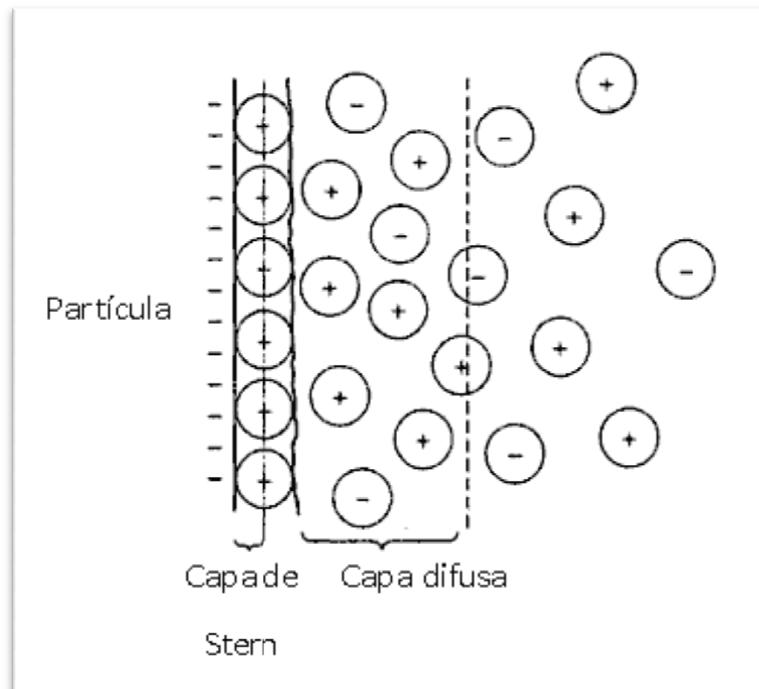


Figura XIV Representación esquemática de las capas de Stern y difusa.

1.1.1.3.- *Fuerzas de hidratación*

Las partículas de carácter biológico tienen en la superficie componentes de carácter hidrofílico. Cuando dos partículas con superficies hidratadas se acerca se produce una interacción repulsiva extra, distinta a la repulsión eléctrica de la doble capa. Esta repulsión surge por la necesidad de las partículas de deshidratarse para que ocurra un contacto real entre ellas. Como esto implica un trabajo, la energía libre del sistema aumentará.

1.1.1.4.- *Interacción hidrofóbica:*

El agua está estructurada mediante puentes de hidrógeno, lo que hace que se formen pequeños clusters transitorios. La presencia de superficies hidrofóbicas puede impedir el crecimiento de clusters en una dirección dada, por lo que es necesario aportar una energía extra. Al formarse huecos las partículas hidrofóbicas se atraen produciendo un aumento de energía libre.

1.1.1.5.- *Interacción estérica*

De la adsorción de polímeros en la superficie de las partículas coloidales puede resultar una interacción estérica. Los polímeros adsorbidos pueden estabilizar como desestabilizar, lo cual depende principalmente de la cantidad relativa del polímero y de las partículas, de la afinidad entre el polímero con la partícula en el agua y de la concentración y tipo de electrolitos presentes.

Cuando hay interacción entre las superficies de dos partículas recubiertas por polímeros que se encuentran próximos, la repulsión entre ellas puede ocurrir de dos formas, compresión e interpenetración. En las aguas naturales las sustancias húmicas, que son polímeros aniónicos, pueden ser adsorbidos en la interfaz sólido-líquido y contribuir a la estabilidad por efectos estéricos.

1.2.- Coagulación

La coagulación es el proceso por el que los componentes de una suspensión o disolución estable son desestabilizados por superación de las fuerzas que mantienen su estabilidad (Aguilar 2002).

Existen una serie de factores que influyen en el proceso de coagulación (Arboleda 2000):

- Dosis de coagulantes
- pH
- Concentración de coloides o turbiedad
- Color o concentración de substancias orgánicas en el agua
- Aniones o cationes presentes en el agua
- Intensidad de la mezcla rápida y gradiente de velocidad de la mezcla lenta
- Movilidad electroforética de las partículas
- Temperatura del agua.

1.2.1.- Mecanismos de coagulación

Diferentes coagulantes pueden llevar a cabo la desestabilización por distintos caminos. Sin embargo, según las condiciones de uso, algunos materiales pueden funcionar como coagulantes o ayuda para la coagulación, y algunos coagulantes pueden alcanzar la desestabilización por más de un camino.

Son cuatro los mecanismos de desestabilización:

- Comprensión de la capa doble.
- Adsorción para producir la neutralización de la carga.
- Inmersión dentro de un precipitado (o barrido)
- Adsorción que permita en enlace tipo puente entre partículas.

1.2.1.1.- Compresión de la doble capa

En el modelo de la doble capa existen tres potenciales de interés (ver figura XV), los cuales son:

- Ψ_0 : es un potencial eléctrico creado por la presencia del coloide en el agua, que disminuye con la distancia, a partir de la superficie del mismo, donde es máximo este potencial. Se llama potencial de Nernst.
 - Ψ_ϕ : El potencial Pi es el potencial, en el interior de la superficie de la doble capa, donde comienza la capa difusa.
 - Ψ_ζ : El potencial Zeta en el plano de cizalla

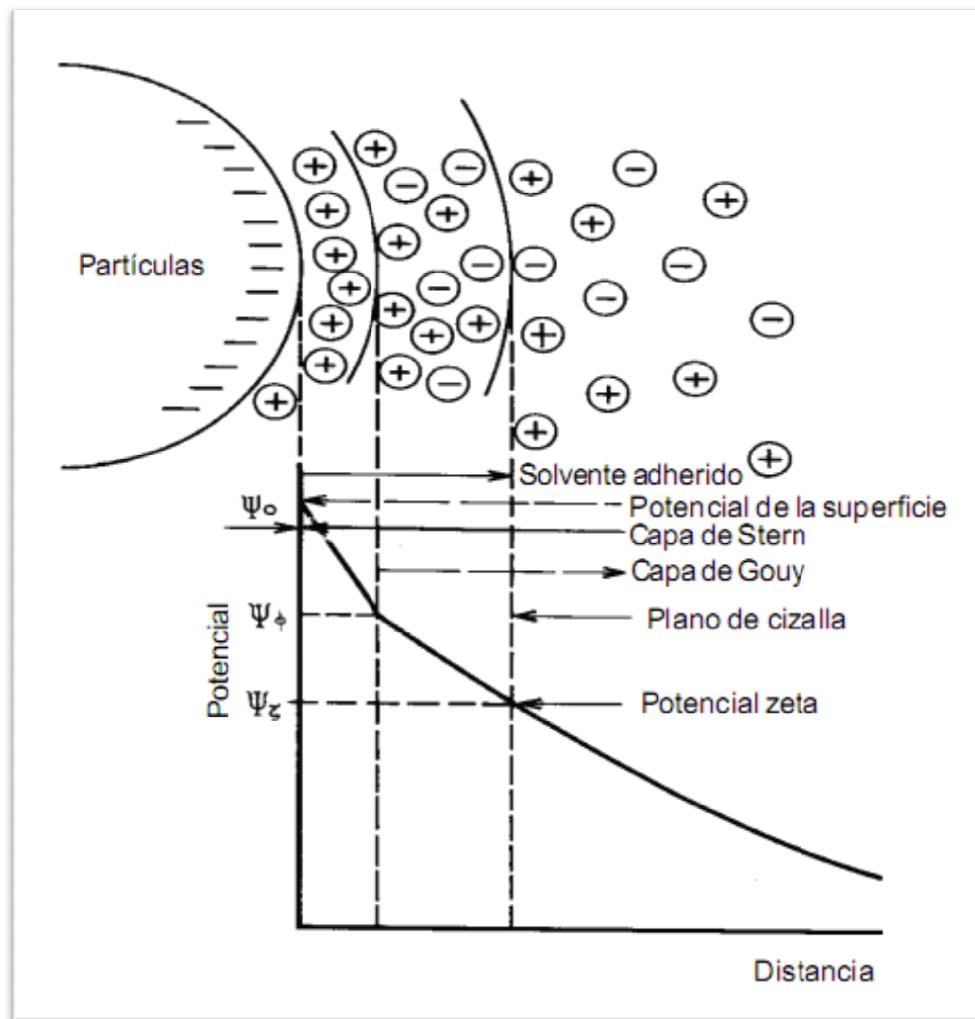


Figura XV **Modelo de doble capa**

Según Stern, existe una distancia mínima entre la superficie del coloide y los iones de carga contraria (positivos), en la cual el potencial eléctrico decrece linealmente; en seguida la disminución resulta exponencial y pasa por la frontera entre la capa compacta y la difusa, lugar en que el potencial eléctrico es designado potencial zeta.

El plano de cizalla es el que separa del resto de la dispersión, la sección de la capa que se mueve con la partícula formando parte integral de ella.

Si se hace una composición de estas fuerzas (repulsión) y las de Van der Waals (atracción) se obtiene una resultante que posee una cresta como puede observarse en la figura

XVI. Esta cresta es llamada barrera de energía, y para que los coloides floculen es necesario que las partículas se aproximen a una distancia menor de la distancia entre la cresta y la superficie de la partícula. Esto se puede lograr o bien mediante la compresión de la doble capa o bien mediante la neutralización de cargas.

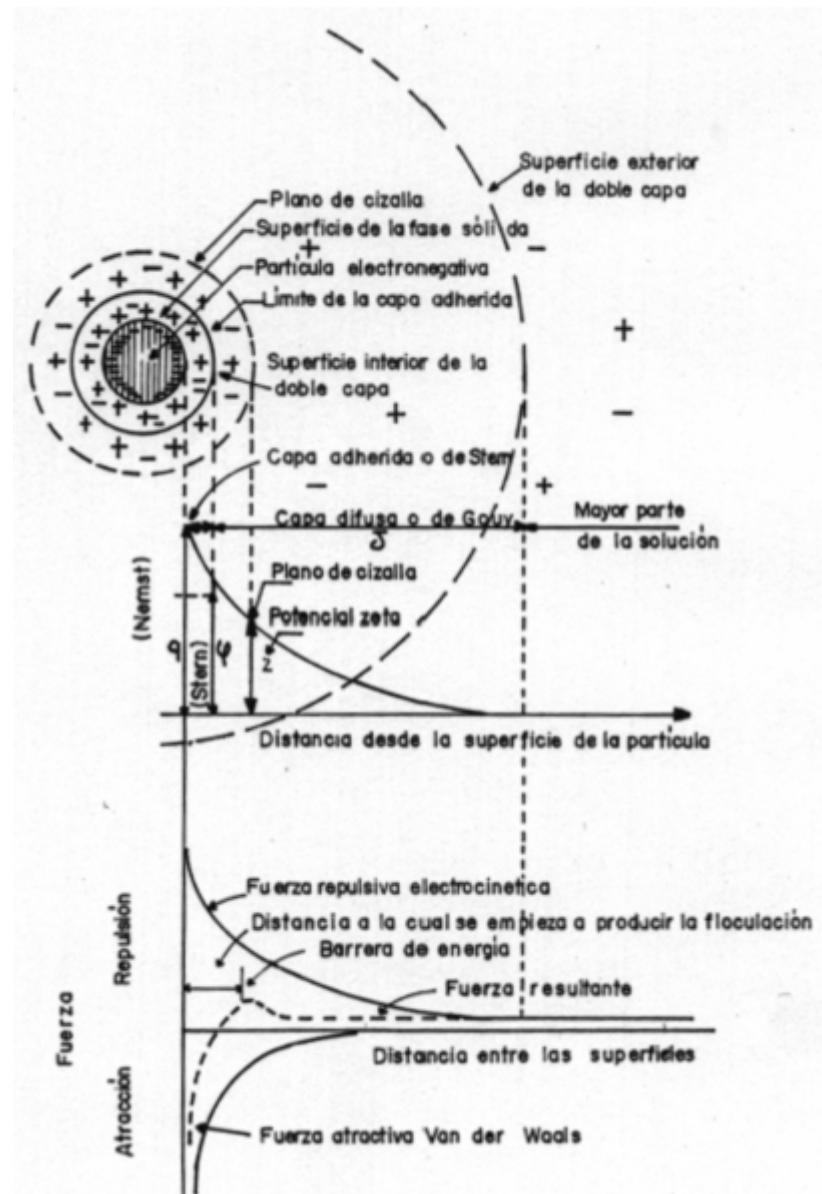


Figura XVI Composición de fuerzas de repulsión y Van der Waals

Para lograr la compresión de la doble capa si se incrementa la concentración del electrolito se incorporan contraíones en la capa difusa, con lo cual ésta se represa y se disminuye la magnitud de las fuerzas repulsivas, permitiendo la eliminación de la barrera de energía. Por eso, la adición de una sal neutra no cambia el potencial del coloide pero altera la forma de la curva de las fuerzas culómbicas, disminuyendo la distancia hasta la cual son efectivas.

Cuanto mayor sea la carga del contraíón más disminuirá la carga del coloide, por ejemplo un ión bivalente es de 30 a 60 veces más efectivo que uno monovalente y a su vez uno