

Fenómenos corrosivos y agresivos asociados al Ciclo Integral del Agua: Problemas, costes y soluciones

El pasado 10 de noviembre de 2011 se desarrolló en Córdoba la Jornada Técnica "Fenómenos corrosivos y agresivos asociados al Ciclo Integral del Agua: Problemas, costes y soluciones". Se trataba de poner al día y de debatir sobre esta problemática del ciclo del agua, probablemente olvidada o cuanto menos no tenida suficientemente en cuenta habitualmente, máxime cuando los perjuicios provocados por los fenómenos de ataque y degradación de redes de agua (de consumo, redes industriales, desaladas, reutilizadas y residuales) pueden suponer del orden del 2 al 4% del PIB del país. Este trabajo recoge el desarrollo de las ponencias presentadas y las conclusiones prácticas de todo lo tratado, elaboradas como cierre de la jornada.

Corrosive and Aggressive Phenomena Associated with the Integrated Water Cycle: Problems, Costs and Solutions

The Technical Workshop "Corrosive and Aggressive Phenomena Associated with the Integrated Water Cycle: Problems, Costs and Solutions" was held in Cordoba, Spain on November 10 2011. The aim was to provide updated information and a forum for debate on this issue, which is often forgotten or at least not sufficiently taken into account. The matter is of great significance, particularly if we consider that the damage caused to water networks (drinking, industrial, desalinated, reused and waste water networks) by corrosion or degradation is in the region of between 2% and 4% of Spanish GDP. This report summarises the papers presented and the practical conclusions arising from the Workshop

Rafael Marín Galvín,

Coordinador Grupo Inspección Vertidos y Laboratorio-Comisión V AEAS

Jefe de Control de Calidad, Calidad y Medio Ambiente, Empresa Municipal de Aguas de Córdoba, S.A. (EMACSA)

Coordinator of Effluent-Laboratory Inspection Section-Comission V AEAS

Head of Quality Control, Quality and Environment, Empresa Municipal de Aguas de Córdoba, S.A. (Cordoba Municipal Water Company - EMACSA)

Introducción

Los fenómenos corrosivos y agresivos que agreden a las infraestructuras y equipos de los sistemas que conforman el Ciclo Integral del Agua, tanto a tuberías, como a colectores de aguas residuales, depósitos y elevaciones, así como a las propias ETAP (estaciones de tratamiento de aguas potables) y EDAR (estaciones de depuración de aguas residuales) tienen tres orígenes: fenómenos electroquímicos, procesos químicos y actividad microbiana.

La conjunción de todos ellos provoca problemas de degradación prematura de materiales en todo el sistema, dado que la ubicación de los agentes corrosivos y agresivos se extiende desde el agua a la atmósfera y a los materiales en contacto con ella, así como a los sólidos separados de forma forzada o no de la misma, siendo esta última acción mucho más acusada en las aguas residuales, saneamientos, en circuitos de aguas industriales, aguas reutilizadas y aguas desaladas, que en los sistemas de aguas de consumo.

En todo caso, la acción negativa de la corrosión y agresividad en los sistemas de abastecimiento y saneamiento de aguas provoca pérdidas anuales muy superiores a los 10.000 millones de euros al año en España (entre el 2% y el 4% del PIB de un país industrializado) además de diversos costes no económicos de índole social, sanitaria y ambiental.

No obstante, las negativas afecciones derivadas de los fenómenos corrosivos y agresivos, no ha sido éste históricamente un tema habitual en eventos y jornadas sobre aguas. Por lo anterior, desde la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS), en colaboración con AQUA-España y CEOCOR (Comité Europeo para el estudio de la Corrosión) se impulsó la organización y desarrollo en febrero de 2011 de una Jornada Técnica sobre "La corrosión en el Ciclo del Agua: Problemas y soluciones" a cuyo marco prestó sus instalaciones la Entidad de Medio Ambiente del Área Metropolitana de Barcelona.

A dicha jornada concurren varios expertos nacionales que profundizaron sobre los problemas prácticos generados en los sistemas de aguas, aguas de consumo, saneamientos y aguas industriales, al mismo tiempo que sobre los costes asociados y las posibles soluciones a fin de minimizar los efectos provocados. Como conclusiones más relevantes de las experiencias presentadas se constató la necesidad de aplicar rutinas de diseño y selección idónea de materiales en función del uso concreto, de reducir en la medida de lo posible la contaminación en origen de las aguas residuales, de proceder a tratamientos adecuados de las aguas industriales, y de llevar a cabo mantenimientos periódicos de los sistemas hidráulicos, todo ello contando con normativas que regulen estos aspectos.

Introduction

Corrosive and aggressive agents which attack the infrastructures and equipment of the systems making up the integrated water cycle, including pipes, waste water sewer systems, tanks and lifting devices, DWTPs (Drinking Water Treatment Plants) and WWTPs (Waste Water Treatment Plants) have three main sources: electrochemical phenomena, chemical processes and microbial activity.

Together, they cause premature degradation of materials throughout the entire system. Corrosive and aggressive agents are present in water, the atmosphere and all materials that come into contact with the water, as well as solids forcibly or otherwise removed from it. The separation of solids is a far greater problem in waste water, sanitation systems, industrial water circuits, reused and desalinated water than in drinking water supply systems.

The negative effects of corrosive and aggressive agents in water supply and sanitation systems result in annual losses of well of 10,000 million euro per annum in Spain (between 2% and 4% of GDP in an industrialised country). This does not include non-monetary costs of a social, sanitary and environmental nature.

Despite this, the negative effects of corrosive and aggressive agents have historically failed to receive much attention at water conferences and workshops. For this reason, the Spanish Association of Water Supply and Sanitation (AEAS), in cooperation with AQUA-España and CEOCOR (European Committee for the Study of Corrosion), promoted a Technical Workshop on "Corrosion in the Water Cycle: Problems and Solutions", which was held in February 2011 at the facilities of the Environmental Entity of the Metropolitan Area of Barcelona.

Several Spanish experts attended to examine in detail the practical problems affecting drinking, sanitary and industrial water systems. They also looked at the associated costs and discussed possible solutions to minimise the effects of these problems. The main conclusions highlighted the need to apply ideal materials design and selection criteria in accordance with specific use, to reduce waste water contamination at source insofar as possible, to treat industrial waters in an appropriate manner, to carry out periodic maintenance on hydraulic systems, and to have regulations governing all these areas.

EMACSA, with the invaluable cooperation of the Faculty of Sciences of the University of Cordoba and the Association of Chemists of Andalusia, took up the challenge presented by AEAS, AQUA-España and CEOCOR of

En la Jornada Técnica sobre “Fenómenos corrosivos y agresivos asociados al Ciclo Integral del Agua: Problemas, costes y soluciones” llevada a cabo el pasado 10 de noviembre de 2011, EMACSA abordó el reto de AEAS, AQUA-España y CEOCOR de organizar, dentro de las actividades generadas por el Año Internacional de la Química 2011 con la colaboración necesaria de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Córdoba y el apoyo de la Asociación de Químicos y Colegio de Químicos de Andalucía, un nuevo foro más ambicioso para profundizar en todos los aspectos relacionados con el tema de la corrosividad y agresión en sistemas de aguas.



Figura 1. De izq. a dcha. / From left to right: Nuria Androer, Roque Gistau, Manuel Blázquez, Miguel Ángel Torrico, Adrián Gomila y Rafael Marín.
Fuente: / Source: UCO

Se planificaron un total de diez ponencias, desarrolladas dos como conferencias (*Fundamentos de la corrosión electroquímica y Validación de materiales para uso en contacto con aguas de consumo* -cuestión aún huérfana de marco legal en España-), cuatro dentro de una primera mesa redonda sobre *Problemas generados por los fenómenos corrosivos y agresivos*, y las otras cuatro dentro de una segunda mesa sobre *Mecanismos aplicables para la minimización de la problemática anteriormente planteada*. Tras cada mesa redonda se organizó un animado debate y al final de la jornada se recogieron las conclusiones más importantes extraídas al efecto.

Para todas estas actividades se contó con expertos nacionales, tanto universitarios (Universidad de Córdoba y Universidad de Barcelona) como profesionales de empresas de aguas (Aguas de Barcelona, EMACSA-Córdoba, EMSHTR-Barcelona, EMASA-Málaga) y de empresas que dan servicios y proporcionan materiales a las primeras (AdiQuímica, Pinturas Villada, ADEQUA-Uralita, Guldager Electrólisis y Labaqua).

La jornada, que concentró a más de medio centenar de asistentes, abarcó a todos los profesionales del agua y empresas afines (químicos, biólogos, ingenieros, arquitectos, ambientólogos...) siendo también un primer marco donde los alumnos universitarios interesados tomaron contacto práctico con el mundo del agua ya que, además de las ponencias y debates, se contó con un espacio dedicado a la exposición de información y productos de empresas que desarrollan su labor profesional en este campo.

Por el indudable interés del tema tratado, este artículo recoge un resumen comentado de las ponencias expuestas así como las conclusiones finales del evento. Queda por parte de la organización (EMACSA, Facultad de Ciencias de la Universidad de Córdoba y Asociación y Colegio de Químicos de Andalucía) el expresar su agradecimiento a todos los asistentes, y especialmente a aquellos que colaboraron económica o institucionalmente en la buena marcha del evento: Excmo. Ayuntamiento de Córdoba, Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento, AQUA-España, CEOCOR, ADEQUA-Uralita y Laboratorios Albus, así como a las empresas e instituciones que aportaron a sus técnicos como reputados ponentes.

Desarrollo del encuentro

Tras la inauguración oficial de la jornada se dictó la primera ponencia a cargo del Prof. Dr. J. M. Rodríguez Mellado, catedrático de la Universidad de Córdoba. El ponente disertó sobre los *fundamentos de la corrosión electroquímica*, corrosión que en general (bien sea electroquímica, química o microbiológica) no es sino la reacción natural de un material frente a su entorno. En cuanto a la corrosión electroquímica, apoyada sobre las diferencias en potencial redox de las sustancias puras o mezcladas, se pro-

organising a new and more ambitious forum to examine in depth all aspects of corrosive and aggressive elements in water systems. This gave rise to the Technical Workshop on “Corrosive and Aggressive Phenomena Associated with the Integrated Water Cycle: Problems, Costs and Solutions”, which was held in November 2011.

A total of ten papers were presented. Two were presented in conference format (*Fundamentals of Electrochemical Corrosion and Validation of Materials for Use in Contact with Drinking Water* – an issue which still lacks a legal framework in Spain-). A further four papers were presented in a

round-table session on “Problems Generated by Corrosive and Aggressive Phenomena” and the remaining four papers were presented in a second round-table session entitled “Applicable Mechanisms to Minimise the Problems Presented Previously”. Each round-table session was followed by a lively debate and the most significant conclusions were presented at the end of the workshop.

Experts at national level participated in all these activities, including representatives from universities (University of Cordoba and University of Barcelona), professionals from companies in the water sector (Aguas de Barcelona, EMACSA-Córdoba, EMSHTR-Barcelona, EMASA-Málaga) and suppliers of materials and services to these companies (AdiQuímica, Pinturas Villada, ADEQUA-Uralita, Guldager Electrólisis and Labaqua).

The workshop was attended by more than fifty people. These included professionals from the water sector and related areas (chemists, biologists, engineers, architects, environmentalists...) and the event also provided the first framework to offer interested university students practical contact with the world of water. In addition to the presentation of papers and the debates, there was an area devoted to the exhibition of information and products from companies working in this field.

This report summarises the papers presented and the final conclusions reached on this vital issue during the event. The organisers (EMACSA, Faculty of Sciences of the University of Cordoba and the Association of Chemists of Andalusia) would also like to take this opportunity to express gratitude to all who attended and particularly to those who contributed financially or institutionally to the success of the event: Cordoba City Council, Spanish Association of Water Supply and Sanitation, AQUA-España, CEOCOR, ADEQUA-Uralita and Laboratorios Albus, along with the companies and institutions whose technical staff participated as expert speakers.

Summary of the event

After the official inauguration of the workshop, Prof. Dr. J. M. Rodríguez Mellado, professor at the University of Cordoba presented the first paper entitled, *Fundamentals of Electrochemical Corrosion*. In general, this type of corrosion (be it electrochemical, chemical or microbiological) is the natural reaction of a material to its environment. Electrochemical corrosion, supported by the differences in redox potential of the pure or mixed substances, occurs when two metals come into contact, or even when different areas of a single metal undergo small differences between them because of humidity, dirt or for other reasons.

There are three typical types of electrochemical corrosion: corrosion in aerated environments, corrosion in deaerated environments and

duce al contactar dos metales o incluso diferentes áreas de un mismo metal sometidas a pequeñas diferencias entre sí por humedad, suciedad u otros.

Existen tres tipos de corrosión electroquímica típica, la producida en medios aireados, en medios desaireados o bien por aireación diferencial. A destacar además, el alto poder degradante de la corrosión por picaduras. Como ejemplo práctico, la Figura 2 presenta los diferentes productos de corrosión generados en la oxidación de un metal típico en redes de aguas como el hierro.

Fe (II):	Fe (III):
- Fe(OH) ₂ Verde / Green	- Fe ₂ O ₃ Rojo / Red
- FeO Negro / Black	- Fe(OH) ₃ Pardo / Brown
- Fe ₂ C ₂ O ₄ Amarillo / Yellow	- (Ac) ₂ Fe(OH) Pardo / Brown
- FeCO ₃ Verde / Green	- Fe ₄ [Fe(CN) ₆] ₃ Azul / Blue
- Fe ₂ (CN) ₆ Fe Blanco / White	- FePO ₄ Amarillo / Yellow
- Fe ₄ [Fe(CN) ₆] ₃ Azul / Blue	
- SFe Negro / Black	

Figura 2. Productos de la oxidación del hierro y sus colores (ponencia de J.M. Rodríguez Mellado) / Figure 2. Products of the oxidation of iron and their colours (paper presented by J.M. Rodríguez Mellado)

Sobre *corrosión en redes de agua potable* versó la ponencia de J. Constantí Mata, de Aguas de Barcelona, que habló sobre el impacto económico de la corrosión, modelos estadísticos de averías en redes de agua de consumo, y análisis tanto destructivos como no destructivos de materiales. Como datos de interés, la tasa media de renovación de redes de distribución se cifra en un 1%, mientras que la edad media se sitúa en unos 50 años.

En todo caso el deterioro de redes de aguas de consumo acarrea problemas de pérdidas de sección, roturas y deficiente calidad del agua. Más del 95% de las redes de distribución son de fundición, fibrocemento y polietileno (alta y baja densidad), de las cuáles las primeras comienzan a degradarse primero externamente progresando después hacia el interior, mientras que las de fibrocemento lo hacen desde el interior hacia afuera, siendo las plásticas prácticamente inertes a la corrosión. Como resumen ilustrativo, la Figura 3 presenta una muy interesante gráfica sobre la durabilidad de diferentes tipos de tuberías frente al tiempo en función de su tasa de averías: ésta varía entre el fibrocemento (alta) y el polietileno de baja densidad (baja).

La tercera ponencia, *sobre corrosión y agresividad en sistemas de aguas residuales*, la desarrolló el autor de este trabajo (R. Marín Galvín). En ella se pasó revista a los tipos de agentes corrosivos y agresivos y sus mecanismos de actuación, materiales afectados, efectos y problemas prácticos, costes y soluciones generales. A destacar que los mecanismos corrosivos microbiológicos son posteriores a los electroquímicos y los químicos, los cuáles ponen en situación de debilidad al material frente al ataque microbiológico. En este sentido, las bacterias más activas en corrosividad son las del hierro y manganeso, las sulforeductoras, las que oxidan al H₂ y, finalmente, las del ciclo del nitrógeno que actúan preferentemente en medios poco aireados. También debe destacarse la actividad corrosiva realizada por parte de algunos hongos de estos sistemas.

Con relación a las agresiones de índole química, cabe citar a Cl⁻, SO₄⁼, Cu²⁺, Br⁻, T°C y los pH extremos, así como al equilibrio carbónico, como principales agentes causales de los mismos. Además, los agentes corrosivos y agresivos se alojan tanto en el agua residual como en las fases sólidas y gaseosas en contacto con estos efluentes (Figura 4), pudiendo ser muy graves los efectos provocados en los sistemas de saneamiento y las EDAR, al mismo tiempo que los costes derivados abarcan aspectos económicos, sociales, sanitarios y ambientales. Finalmente, se deben potenciar políticas de control en origen de contaminantes (minimizar su empleo para minimizar asimismo su vertido) a fin de paliar estos negativos efectos.

corrosion caused by differential aeration. It is important to point out that pitting corrosion causes very severe degradation. As a practical example, Figure 2 shows the different corrosion products caused by the oxidation of a metal typically found in water networks, as is the case of iron.

J. Constantí Mata, from Aguas de Barcelona, spoke on Corrosion in Drinking Water Distribution Networks. This paper dealt with the economic aspects of corrosion, statistical models of breakages in potable water networks and destructive and non-destructive materials analysis. Of interest is the fact that the average rate of distribution network renewal is estimated at 1%, while the average network age is approximately 50 years.

Deterioration in drinking water networks leads to loss of sections, breakages and deficient water quality. More than 95% of distribution networks are made of cast iron, fibre cement and polyethylene (low and high density). Cast-iron degradation begins on the outside and progresses inwards, fibre cement degradation starts in the interior and progresses towards the exterior, while the plastics used for this purpose are practically corrosion-resistant. Figure 3 features a very interesting graph on the durability of different types of piping over time based on their breakage rate: this varies from fibre cement (high) and low-density polyethylene (low).

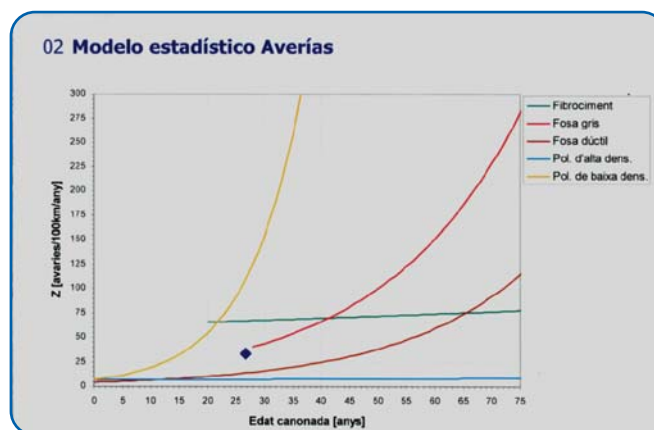


Figura 3. Durabilidad de tuberías de aguas de consumo (ponencia de J. Constantí Mata) / Figure 3. Durability of drinking water pipes (paper presented by J. Constantí Mata)

The third paper, on Corrosion and Aggression in Waste Water Systems, was presented by the author of this report (Dr. R. Marín Galvín). This paper examined the types of corrosive and aggressive agents, the mechanisms governing their action, affected materials, practical effects and problems, and costs and general solutions. It must be noted the fact of that microbiological corrosive mechanisms act after electrochemical and chemical mechanisms, which weaken the material for the subsequent microbiological attack. In this sense, the most active bacteria in terms of corrosivity are iron and manganese bacteria, sulphur reducers, bacteria that oxidise H₂, and finally bacteria from the nitrogen cycle whose action is favoured by non-aerated conditions. The corrosive activity of some fungi in these systems should also be emphasised.

Cl⁻, SO₄⁼, Cu²⁺, Br⁻, T°C and extreme pH levels, along with carbonic acid balance, are the main agents of chemical corrosion. Furthermore, the corrosive and aggressive agents are housed both in the waste water and in the gaseous and solid phases that are in contact with it (Figure 4). The effects on sanitation systems and WWTPs can be very serious, resulting in economic, social, sanitary and environmental costs. Finally, policies should be intensified to control contaminants at source (minimising their use so as to minimise their presence in effluent waters) in order to mitigate these negative effects.

Dr. Nuria Adroer Martori (Adiquímica) spoke on the Problems of Corrosion, Fouling, Contamination and Microbial Development in

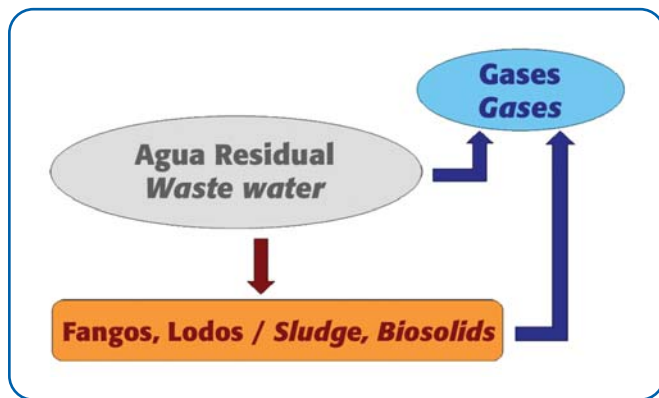


Figura 4. Ubicación de los agentes corrosivos y agresivos en saneamientos
Figure 4. Location of corrosive and aggressive agents in sanitation systems

La Dr. Nuria Adroer Martori (AdiQuímica) disertó sobre los *problemas de corrosión, incrustaciones, ensuciamiento y desarrollos microbianos que se experimentan en redes de aguas industriales*. Torres de refrigeración, calderas de vapor y circuitos cerrados son las instalaciones más afectadas, desarrollándose en las mismas problemas de atascos, incremento de bombeos, cortes de suministro, pérdidas de rendimiento en producción, deterioro de calidad de productos manufacturados e incluso su contaminación microbiana, además del acortamiento de la vida útil de los equipos sin descartar incidencias más graves por accidentes laborales.

De todos los sistemas, aquellos con altas tasas de oxigenación son los más deteriorados así como los que por imperativo sanitario requieren del mantenimiento de elevados niveles de desinfectante residual en el agua (cloro o similares, de alto poder oxidante, p. e., *torres de refrigeración*) o los que operan con aguas sometidas a valores extremos de pH en las mismas.

La ponencia final de esta primera mesa redonda corrió a cargo del Prof. Dr. Miquel Salgot de Marçay, de la Universidad de Barcelona. El conferenciante pasó a plantear la *comparación entre el comportamiento ante la corrosión de aguas reutilizadas y aguas desaladas*, de tipología y problemática ciertamente distinta. Si bien las características generales de las aguas reutilizadas dependerán de su origen y de su futuro uso, las aguas desaladas al tener muy poco contenido salino ya se constituyen en fluidos muy agresivos frente a los

Industrial Water Networks. The most affected facilities are cooling towers, steam boilers and closed circuits, which experience blockages, pumping surges, supply cuts, loss of production efficiency, deterioration in the quality of manufactured products and even microbial contamination of such products. Additional problems include the shortening of the useful life of equipment and the potential for serious occupational accidents.

Systems with high oxygenation rates deteriorate most along with those systems which, for maintenance purposes, require high levels of residual disinfectant in the water (chlorine or similar agents with a high oxidising power, e.g., cooling towers) or systems which operate with water that has extreme pH values.

The final presentation at this first round-table session was made by Prof. Dr. Miquel Salgot de Marçay from the University of Barcelona, who spoke on the Comparison of the Behaviour of Reused Water and Desalinated Water with Respect to Corrosion. These two types of water are quite different, as are the problems associated with them. While the general characteristics of reused water will depend on its origin and future use, desalinated water, owing to its very low salt content, is very aggressive to the materials that come into contact with it. So too is the high-salinity "brine" produced as a by-product of desalinated water. Corrosion in reclaimed water can extend to production and distribution systems as well as the equipment that uses such water. Desalinated water management also embraces management of the above-mentioned brine.

Dr. Salgot de Marçay examined the different chemical, electrochemical and microbiological corrosive agents, their typology and the conditions that favour them. His examination of the requirements of life of the most active corrosive micro-organisms was of particular interest. At the end, he also focused on the introduction of corrective measures, emphasising that the selection of suitable materials for each specific water reuse or desalination system was of critical importance. Table 1 provides information on the bacteria involved in corrosion.

The presentation of the above-mentioned papers was followed by a lively debate, during which the participants expressed their preoccupation regarding the need for more practical research into corrosion and the high costs associated with such research. They also cited the value of

Tabla 1. Microorganismos implicados más habitualmente en procesos de corrosión (bacterias)

Table 1. Most common microorganisms in corrosion processes (bacteria)

Género o especie Genus or Species	Rango de pH y temp. pH and temp. range	Necesidad de oxígeno Oxygen requirement	Metales/materia afectados Affected Metals/material	Efectos de los microorganismos Effects of the microorganisms
<i>Desulfovibrio desulfuricans</i>	4-8 10-40	Anaerobio Anaerobic	Fe, acero, Al, Zn, aleaciones de Cu Fe, steel, Al, Zn, Cu alloys	Usa H al reducir SO_4^{2-} a S^{2-} y H_2S . Favorece formación de películas de sulfuros Uses H on reducing SO_4^{2-} to S^{2-} and H_2S . Favours the formation of sulphide films
<i>Desulfatamaculum nigrificans</i>	6-8 10-40 (45-75)	Anaerobio Anaerobic	Fe, acero, aceros inoxidables Fe, steel, stainless steels	Reduce SO_4^{2-} a S^{2-} y H_2S (formadores de esporas) Reduces SO_4^{2-} to S^{2-} and H_2S (spore formers)
<i>Desulfomans</i>	10-40	Anaerobio Anaerobic	Fe, acero Fe, steel	Reduce SO_4^{2-} a S^{2-} y H_2S Reduces SO_4^{2-} to S^{2-} and H_2S
<i>Thiobacillus thiooxidans</i>	0,5-8 10-40	Aerobio Aerobic	Fe, acero, cemento, aleaciones de Cu Fe, steel, cement, Cu alloys	Oxida S y sulfuros a H_2SO_4 . Daña recubrimientos Oxidises S and sulphides to H_2SO_4 . Damages coatings
<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	1-7 10-40	Aerobio Aerobic	Fe, acero Fe, steel	Oxida Fe^{2+} a Fe^{3+} Oxidises Fe^{2+} to Fe^{3+}
<i>Gallionella</i>	7-10 20-40	Aerobio Aerobic	Fe, acero, aceros inoxidables Fe, steel, stainless steels	Oxida Fe^{2+} a Fe^{3+} (y Mn). Forma tubérculos Oxidises Fe^{2+} to Fe^{3+} (and Mn). Forms tubercles
<i>Sphaerotilus</i>	7-10 20-40	Aerobio Aerobic	Fe, acero, aceros inoxidables Fe, steel, stainless steels	Oxida Fe^{2+} a Fe^{3+} (y Mn). Forma tubérculos Oxidises Fe^{2+} to Fe^{3+} (and Mn). Forms tubercles
<i>S. natans</i>			Aleaciones de Al Al alloys	Oxida Fe^{2+} a Fe^{3+} (y Mn). Forma tubérculos Oxidises Fe^{2+} to Fe^{3+} (and Mn). Forms tubercles

Tabla 1. Microorganismos (bacterias) implicados más habitualmente en procesos de corrosión (ponencia de M. Salgot de Marçay)
Table 1. Microorganisms (bacteria) most commonly involved in corrosion processes (paper presented by M. Salgot de Marçay)

materiales en contacto con ellas, paralelamente a los residuos de su producción, las "salmueras" de alta salinidad. La corrosión en aguas regeneradas puede extenderse por los sistemas de producción y distribución, así como los de propios equipos que las emplean. La de las aguas desaladas, también abarca la gestión de las salmueras antes mencionadas.

El Dr. Salgot de Marçay pasó revista a los agentes productores de corrosiones, bien sean químicos, electroquímicos o microbiológicos, su tipología y los factores que los potencian, haciendo una muy acertada exposición de los requerimientos vitales de los microorganismos más activos en estos temas. Como final también se ocupó de una introducción a las medidas correctoras, entre las que la elección de materiales adecuados a cada sistema concreto de reutilización o desalación se demuestra crítica. La Tabla 1 presenta, como ejemplo de lo expuesto, información de interés sobre bacterias implicadas en corrosión.

Finalizadas las ponencias antes reseñadas, se inició un animado debate en que se puso de manifiesto la preocupación por parte de los asistentes sobre la necesidad de más investigación práctica sobre la corrosión, los elevados costes asociados a la misma, el uso como herramienta eficaz de modelos estadísticos a fin de prever la durabilidad de los componentes de las redes de aguas, el importante efecto que puede tener un eficaz control de vertidos industriales, así como la efectividad de poder implantar en la ejecución de proyectos los materiales más idóneos, huyendo de criterios solamente económicos.

La parte vespertina de la jornada se inició con una exposición a cargo de F. García Andreu (Labaqua) sobre *migración de materiales en contacto con aguas de consumo*. En este sentido, la cuestión es que actualmente no se dispone de una normativa nacional que indique cuáles y de qué forma se validan legalmente los materiales en contacto con un agua de consumo público, algo que está previsto en la Directiva Europea 98/83/CE y en su transposición española, el RD 140/2003, siendo por ello la situación especialmente grave para los gestores de nuestros abastecimientos.

En la ponencia se relató la evolución histórica del tema, que en principio debía abordarse mediante un denominado *Esquema Europeo de Aceptación* aplicable a todos los Estados miembros (EEMM). Abandonado este Esquema por diversas cuestiones, en la actualidad hay cuatro estados (Alemania, Reino Unido, Francia y Países Bajos) que han conformado Esquemas nacionales. En resumen, un Esquema de Aceptación debe abordar algunas cuestiones básicas, como son control de sustancias empleadas en la fabricación de materiales, análisis del producto terminado y auditorías de calidad. En cuanto a los ensayos de calidad aplicables, la Figura 5 recoge una síntesis de lo expuesto por el conferenciante. Finalmente, se pasó revista a la estructuración de los ensayos de migración, toxicología asociada y cálculo de resultados, en la confianza de que en nuestro país se decida abordar definitivamente la cuestión en los próximos meses.

La segunda mesa redonda, sobre soluciones al problema de corrosiones y agresiones en el ciclo del agua fue moderada, al igual que la primera, por

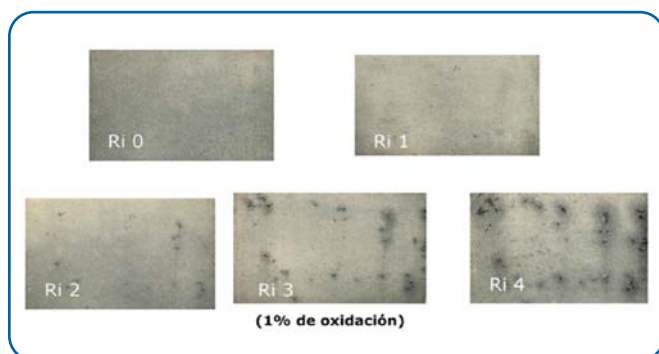


Figura 6. Grados de oxidación más frecuentes utilizados, UNE-EN ISO 4628-3 (ponencia de F. Salvi Colom) 1% de oxidación / Figure 6. Most frequently used oxidation grades, UNE-EN ISO 4628-3 (paper presented by F. Salvi Colom) 1% oxidation



Figura 5. Tipos de ensayos (ponencia de F. García Andreu) / Figure 5. Types of test (paper presented by F. García Andreu)

statistical models as an effective tool to forecast the durability of water network components. Other points emphasised included the importance of efficient control on industrial effluents, the benefits of using the most appropriate materials for infrastructure projects and the importance of using other criteria, apart from merely financial criteria, in materials selection.

The evening session began with a presentation by F. García Andreu (Labaqua) on the Migration from Materials in Contact with Drinking Waters. There is currently no Spanish legislation to determine and legally validate materials in contact with drinking water, although this is contemplated in European Directive 98/83/EC and its transposition into Spanish law, RD 140/2003. This legal void represents a particularly worrying situation for water supply managers.

The paper outlined the background of the issue, which in principle ought to have been addressed in the form of a European Acceptance Scheme applicable to all member states. This Scheme was abandoned for different reasons and there are currently four countries (Germany, The United Kingdom, France and The Netherlands) with national schemes in place. In summary, an Acceptance Scheme should address the control of substances used in the manufacture of materials, analysis of end products and quality audits. Figure 5 presents a synthesis of the applicable quality tests examined by the speaker. Finally, the paper looked at the structuring of migration testing, associated toxicology and the calculation of results. We trust that this issue will be definitively addressed in Spain in the coming months.

The second round-table session, on solutions to the problem of corrosion and aggression in the water cycle, was also chaired by R. Mantecón Pascual (EMSHTR-Barcelona and president of Commission V of the AEAS). This session saw the presentation of the four papers summarised below.

F. Salvi Colom (Pinturas Villada) spoke on the Use of Internal and External Paints and Coatings in Water Pipes and Tanks. He first outlined the different degrees of oxidation of metal materials and the practical strategy for subsequent recovery (see Figure 6). In this respect, painting systems have a number of stages that range from surface preparation, primer coat, intermediate coat and final coat, the objective being to achieve a protective layer of a certain thickness in accordance with the material and its use.

He also spoke of the properties required of coatings (electrical resistance, chemical resistance, resistance to abrasion and impact and resistance to cathodic debonding) and the two main types of coating, epoxy and

R. Mantecón Pascual (EMSHTR-Barcelona y presidente de la Comisión V de AEAS) constando de otras cuatro presentaciones que se comentan a continuación.

F. Salvi Colom (Pinturas Villada) disertó sobre el *empleo de pinturas y recubrimientos tanto externos como internos en tuberías y depósitos de aguas*. En este sentido, expuso en primer lugar los diferentes grados de oxidación de los materiales metálicos en orden a la estrategia práctica aplicable para su posterior recuperación (ver Figura 6). Respecto a ésta, los sistemas de pintado comprenden varios apartados que comienzan con la preparación de la superficie, seguida de su imprimación, pintura intermedia y pintura final, consiguiendo una capa protectora de un cierto espesor según material y uso previsto para el mismo.

También habló de las propiedades exigibles a los recubrimientos (resistencia eléctrica, resistencia química, buena adherencia a abrasión y golpes, y resistencia a la descohesión catódica) y de los dos tipos principales de recubrimientos existentes, cuáles son los epoxídicos y los poliuretanos cuyo uso con o sin disolventes orgánicos estará en función del tipo de red de agua considerada (para el agua de consumo están prohibidos los disolventes orgánicos). También se extendió sobre las normas de calidad vigentes para este tipo de productos.

Sobre *adecuación de materiales a instalaciones de aguas* habló J. Vicente Pastor (ADEQUA-Uralita). En cuanto a tuberías existen dos grandes grupos: tuberías rígidas y tuberías flexibles. Entre las primeras se encuentran las de hormigón, gres, fibrocemento y fundición, mientras que las flexibles se fabrican de PVC, polietileno, polipropileno (*materiales termoplásticos*), poliéster reforzado con fibra de vidrio y hormigón polímero (*materiales termoestables*).

Las tuberías plásticas presentan ventajas frente a las tradicionales siendo muy resistentes a la corrosión electroquímica y a las agresiones químicas, también a la abrasión y a las roturas, con una alta estanqueidad, además de ser fácilmente manejables y de instalación y montaje rápidos. El ponente presentó un completo *dossier* con los diferentes productos comerciales existentes, técnicas de montaje y accesorios entre los que, como ejemplo, la Figura 7 presenta una gama de pozos de registro prefabricados de fácil instalación y adaptación a distintas situaciones reales.

A continuación, nuevamente la Dra. Adroer Martori se fijó en los *métodos habituales de tratamiento de aguas destinadas a procesos industriales* que se aplican en dos modalidades: al agua de aporte mediante tratamientos externos o mediante tratamientos internos al agua dentro de las instalaciones. Entre los tratamientos externos citó la filtración (a través de filtros con uno o varios rellenos filtrantes), coagulación-floculación (con adición de coagulantes y floculantes), adsorción sobre carbón activo (que suele anteponerse a ósmosis inversa, ultrafiltración, nanofiltración, y en general, membranas filtrantes) y desinfección, así como otros más específicos de corrección de aguas, tales como descalcificación y desdurecimiento, desmineralización y desgasificación térmica, aparte del empleo de membranas ya citado más arriba.

Con respecto a los tratamientos internos, consisten en la adición al agua de inhibidores de corrosión que se sitúan sobre las superficies metálicas ralentizando los procesos corrosivos. Existen inhibidores catódicos tales como polifosfatos, fosfonatos y zinc, e inhibidores anódicos del tipo molibdato, ortofosfato, silicato y nitrito, a los cuáles pasó revista. También se fijó en la cuestión desde el tipo de vista de la normativa vigente, haciendo hincapié en las ventajas e inconvenientes prácticos del empleo de todas estas sustancias.

Como última ponencia, A. Gomila habló sobre *sistemas de protección catódica* muy empleados a escala práctica

polyurethane coatings. The use of these coatings with or without organic solvents will depend on the water network type (organic solvents are prohibited for drinking water networks). The presentation also looked at current legislation governing the quality of these products.

J. Vicente Pastor (ADEQUA-Uralita) presented a paper on the Adaptation of Materials to Water Facilities. There are two main types of pipes: rigid pipes and flexible pipes. The first type includes pipes made of concrete, stoneware, fibre cement and cast iron. Ductile pipes are made of PVC, polyethylene, polypropylene (thermoplastic materials), glass fibre reinforced polyester, and polymer concrete (thermostable materials).

Plastic pipes hold some advantages over traditional pipes. They are very resistant to electrochemical corrosion, chemical aggression, abrasion and breakage. They are extremely watertight, are easy to handle and can be assembled and installed quickly. The speaker provided a comprehensive guide to the different products on the market, assembly techniques and accessories. By way of example, Figure 7 shows a range of easy-to-install prefabricated manholes that adapt well to different real-life situations.

Dra. Adroer Martori presented her second paper on Common Methods for the Treatment of Water for Industrial Processes. This treatment is applied in two ways: external process water treatment or internal treatment of this water within the industrial facility. Amongst the external treatments, she cited filtration (by means of filters with one or several filtering agents, coagulation/flocculation (with the addition of coagulants or flocculants), adsorption on activated carbon (more common than reverse osmosis, ultrafiltration, nanofiltration, and membrane filters in general) and disinfection. External treatment also embraces more specific water correction treatment, such as decalcification, softening, demineralisation, and thermal degasification, in addition to the use of the above-mentioned membranes.

Internal treatment consists of adding corrosion inhibitors to the water. These accumulate on metal surfaces and retard corrosive processes. The different types of inhibitors, including cathodic inhibitors, such as polyphosphates, phosphonates and zinc, and anodic inhibitors, such as molybdate, orthophosphate, silicate and nitrate were examined in the course of the presentation. The issue was also addressed from the perspective of current legislation, and the practical benefits and drawbacks of using all these substances were looked at.

A.Gomila presented the final paper of the session on Cathodic Protection Systems, so commonly used to fight against electrochemical corrosion. These systems function by attracting the corrosion (i.e., the anodic reactions) from the material of interest to another material in contact with it. This enables a reduction in the speed of corrosion to thickness rates of less than 10 µm per year. Cathodic protection can be internal or external and in both cases involves the connection of sacrificial anodes or



Figura 7. Optimización de tuberías plásticas: gama de accesorios (ponencia de J. Vicente Pastor)
Figure 7. Optimisation of plastic pipes: range of accessories (paper presented by J. Vicente Pastor)

como forma de luchar contra la corrosión de tipo electroquímico. El fundamento es conseguir que la corrosión (es decir, las reacciones anódicas) se traslade desde el material de interés a otro sistema en contacto con el primero, con lo que se logra reducir la velocidad de corrosión a tasas de espesor de menos de 10 µm al año. La protección catódica puede ser interna o externa, y en ambos casos puede llevarse a cabo mediante la instalación de ánodos de sacrificio o por aplicación de corriente impresa al sistema a proteger, la cual hace uso de un sistema de rectificación de corriente continua, habitualmente con una tensión de 50 V.

Los ánodos de sacrificio aprovechan la diferencia de potencial entre el material metálico a proteger (incluso el armado metálico del hormigón) y el ánodo o material que se corroe al recibir la corriente de oxidación. El ponente presentó escalas prácticas de empleo de ánodos eficaces para determinados materiales (Tabla 2) así como una completa colección de ejemplos prácticos. Los dos sistemas (cuyo conjunto logra la máxima eficacia) se aplican en tuberías enterradas y sumergidas, y en elementos complejos y accesorios (bridas, válvulas). Finalmente, se pasó revista a muchos ejemplos prácticos así como a las normas técnicas vigentes sobre protección catódica.

Conclusiones de la jornada

Como ideas generales extraídas tanto de las ponencias como de los debates posteriores a las mesas redondas pueden citarse las siguientes, recogidas al final de la jornada por D^a. P. Sánchez Portales (EMASA):

- Existen escasos conocimientos prácticos sobre el fenómeno de la corrosión. Es un tema relativamente poco tenido en cuenta, a pesar de su alta incidencia económica, que incluso podríamos calificar como casi olvidado, tanto a nivel formativo como en la rutina doméstica.
- La incidencia de los efectos corrosivos y agresivos es más acusada en sistemas de aguas residuales y saneamientos, aguas de circuitos industriales y aguas desaladas, que en aguas de consumo e incluso que en aguas regeneradas.
- Se debe tender a realizar un diseño adecuado de redes y sistemas en función, entre otros factores, del fluido a emplear o verter, realizando una selección idónea del material y actuando sobre el medio corrosivo mediante un adecuado mantenimiento preventivo.
- En referencia a la necesaria prevención, una herramienta eficaz podría constituir la elaboración de modelos estadísticos para el diagnóstico de problemas pasados, presentes o futuros en los sistemas e instalaciones afectadas por la corrosión.
- A destacar asimismo el valor de un eficiente control de vertidos industriales, especialmente ante incidencias de agresiones químicas a materiales, en el caso de aguas residuales, sistemas de saneamiento y depuradoras de aguas residuales.
- Tratamiento adecuado de las aguas. Se hace necesario especialmente en las aguas residuales, mejor en origen, a fin de lograr la reducción de la contaminación, la cual favorece los fenómenos corrosivos. También debe contemplarse la adecuación del diseño en función del tratamiento y calidad del agua requerida para las condiciones específicas de trabajo.
- Costes elevados. Como consecuencia de la falta de conocimientos y desatención generalizada en el ciclo integral del agua hacia el fenómeno de la corrosión y agresividad se generan un gran número de costes directos e indirectos que suponen cantidades económicas considerables.

Protección Catódica / Cathodic protection

Pilas Galvánicas / Galvanic cells	Potencial Corrosión ImVI Corrosion potential ImVI	
Cobre / Copper	+ 50 a -100	Atacan al hierro Attack iron
Acero en hormigón / Steel embedded in concrete	-100 a -200	
Acero / fundición en arena lavada Steel/cast iron in gravel-washed sand	-400 a -450	Hierro enterrado Iron embedded
Acero / fundición en suelos mixtos Steel/cast iron in mixed soils	-450 a -600	
Acero / fundición en suelos arcillosos Steel/cast iron in clay soils	-600 a -800	
Zinc / Zinc	-900 a -1100	Protegen al hierro Protect the iron
Magnesio / Magnesium	-1100 a -1700	

Tabla 2. Protección catódica (ponencia de A. Gomila) / Table 2. Cathodic protection (paper presented by A. Gomila)

the application of impressed current to the system to be protected. Impressed current cathodic protection involves the use of a current rectifier, normally with a voltage of 50 V.

The sacrificial anodes avail of the difference in potential between the metal material to be protected (even the metal in reinforced concrete) and that of the anode or material that is corroded on receiving the oxidation current. The speaker presented practical scales of anodes useful for the protection of specific materials (Table 2) and gave a comprehensive range of practical examples. The two systems (which in combination achieve the greatest effectiveness) are applied in underground and submerged pipes as well as in complex elements and accessories (flanges, valves). At the end of the presentation, current legislation governing technical aspects of cathodic protection was examined.

Workshop conclusions

The following general conclusions were drawn from the papers presented and the debates held after the round-table sessions. They were presented at the end of the Workshop by D^a. P. Sánchez Portales (EMASA):

- There is little practical knowledge on the phenomenon of corrosion. It is a relatively ignored issue, despite its great economic repercussions. Indeed, we could go so far to say that it is almost a forgotten issue, both in terms of training and everyday practice.
- The effect of corrosive and aggressive agents is greater in waste water and sanitation systems, industrial process water and desalinated water than in drinking water or even in reclaimed water.
- There should be appropriate design of networks and systems in accordance with the fluid to be used or discharged. Ideal materials should be selected and suitable preventive maintenance should be employed to protect against the corrosive medium.
- With respect to prevention, the creation of statistical models could constitute an effective tool to diagnose past, present or future problems in systems and facilities affected by corrosion.
- It is important to underline the value of an efficient control system for industrial effluents, particularly with respect to chemical aggression on materials, in the case of waste water, sanitation systems and waste water treatment plants.
- Appropriate water treatment is particularly required for waste water, preferably at source, in order to reduce pollution, which favours corrosive activity. Adapting the design in accordance with the treatment and quality of the water required for the specific types of work should also be contemplated.
- High costs. The lack of knowledge and general lack of attention paid to corrosion and aggression in the integrated water cycle generates many direct and indirect costs, which amount to considerable sums of

Tampoco cabe desdeñarse los costes sociales y ambientales acarreados por los fenómenos de este tipo.

- Necesidad de regulación. Carecemos de una legislación a niveles estatal y europeo que trate de forma suficiente los diferentes aspectos representados en el fenómeno de la corrosión y agresividad en su relación con el Ciclo Integral del Agua, siendo por ello necesario reivindicar el nacimiento de una normativa que evite los vacíos legales existentes en todos los ámbitos en que la corrosión se muestra presente.

Agradecimientos

A todos los ponentes de la Jornada Técnica por la disponibilidad de los datos aportados que se incluyen en este trabajo.

Bibliografía de interés

- Degremont. Manual Técnico del Agua-Memento Technique de l'eau. París (1989).
- R. Marín Galvín. Análisis de Aguas y Ensayos de tratamiento: Principios y Aplicaciones. Ed. G.P.E, S.A. (*pedidos al autor*) Barcelona (1995).
- J. M. Rodríguez Mellado, y R. Marín Galvín. Físicoquímica de Aguas. Ed. Díaz de Santos (1999).
- Metcalf y Eddy Inco. Wastewater Engineering. Treatment and reuse, 4th ed. Ed. McGraw Hill. New York (2003).
- R. Marín Galvín, R. Mantecón Pascual, Í. González Canal, F. Ripollés Pascual, E. Santateresa Forcada y J. Navarro Navarro. Impactos de la contaminación de origen doméstico y no industrial sobre los SISP. InfoEnviro, 58 (2010), pág. 103-110.
- R. Marín Galvín. Corrosión y agresividad en aguas residuales. Mecanismos, ejemplos y costes. TecnoAmbiente, 219 (2011), pág. 15-22.
- ADEQUA-Uralita™. Información comercial suministrada por la empresa (2011).

money. Nor should the social and environmental costs incurred as a result of these factors be underestimated.

- Need for regulation. There is a lack of legislation at national and European level to deal appropriately with the different aspects of corrosion and aggression in the Integrated Water Cycle. Therefore, legislation is urgently required to fill the legal void that currently exists in all areas in which corrosion is of relevance.

Acknowledgments

I wish to thank all those who presented papers at the Workshop for making available the data published in this report.

Bibliography and literature of interest

- Degremont. Manual Técnico del Agua-Memento Technique de l'eau. París (1989).
- R. Marín Galvín. Análisis de Aguas y Ensayos de tratamiento: Principios y Aplicaciones. Ed. G.P.E, S.A. (commissioned by the publisher) Barcelona (1995).
- J. M. Rodríguez Mellado, and R. Marín Galvín. Físicoquímica de Aguas. Ed. Díaz de Santos (1999).
- Metcalf and Eddy Inco. Wastewater Engineering. Treatment and Reuse, 4th ed. Ed. McGraw Hill. New York (2003).
- R. Marín Galvín, R. Mantecón Pascual, Í. González Canal, F. Ripollés Pascual, E. Santateresa Forcada and J. Navarro Navarro. Impactos de la contaminación de origen doméstico y no industrial sobre los SISP. InfoEnviro, 58 (2010), pp. 103-110.
- R. Marín Galvín. Corrosión y agresividad en aguas residuales. Mecanismos, ejemplos y costes. TecnoAmbiente, 219 (2011), pp. 15-22.
- ADEQUA-Uralita™. Sales literature supplied by the company (2011).

ELECTROSTEEL
Tubos y Accesorios de Fundición Dúctil
Según las Normas UNE EN 545:2010, UNE EN 545:2007 y UNE EN 598:2007

**10^o aniversario
en España
y Portugal**

Más de 50 distribuidores
repartidos por toda la geografía

ELECTROSTEEL EUROPE S.A.
C/ Serrano, 93 - 28006 Madrid - Tel. +34 915 64 73 29
www.electrosteel.es / electrosteel@electrosteel.es / www.electrosteel.com