

Características corrosivas de salmueras geotérmicas

Benjamín Valdez¹ y Michael Schorr²

¹Área de Ingeniería Química. ²Departamento de Materiales, Minerales y Corrosión. Instituto de Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México, C. P. 21280. Correo: berval@iing.mx.uabc.mx

Resumen

La corrosión es un problema permanente en ambientes naturales e industriales, incluyendo los campos geotérmicos, causando daños a los materiales, equipos y estructuras. Las salmueras geotérmicas contienen una alta concentración de sales minerales disueltas y ionizadas, especialmente cloruros y sulfatos y en menor cantidad carbonatos y bicarbonatos. Los factores dominantes de la corrosión húmeda son la salinidad, el oxígeno disuelto, el ion cloruro y la elevada temperatura. Las estructuras y equipos superficiales de los campos geotérmicos, como tuberías, bombas, silenciadores, canales y válvulas, están fabricados de dos materiales de ingeniería básicos: los aceros y el concreto reforzado, este último con una superficie de baja porosidad para evitar la penetración de los minerales y la posterior corrosión. Fenómenos de corrosión, incrustación (*scaling*) y sedimentación (*fouling*) aparecen en forma simultánea y sinérgica en sistemas que manejan salmueras geotérmicas por su interacción fisicoquímica con la superficie de los equipos. El control de la corrosión contribuye a la preservación y protección de la calidad del medio ambiente alrededor del campo geotérmico. En este trabajo se presentan y discuten casos de corrosión en campos geotérmicos de México y Estados Unidos.

Palabras clave: Corrosión, incrustación, salmuera geotérmica, control de corrosión.

Corrosive features of geothermal brines

Abstract

Corrosion is a permanent problem in natural and industrial environments, including geothermal field, and causes damage to materials, equipment and structures. Geothermal brines content a high concentration of mineral ionized salts in solution, specially chlorides and sulfates with minor amounts of carbonates and bicarbonates. The main factors for wet corrosion are salinity, dissolved oxygen, chloride ions and high temperature. The superficial structures and equipment of geothermal fields, as pipes, pumps, silencers, channels and valves, are made of two basic materials for engineering: steel and reinforced concrete, the latter prepared with a low-porosity surface to avoid penetration and ulterior corrosion. Processes of corrosion, scaling and fouling occur simultaneously in systems for handle geothermal brines, due to the physicochemical interaction between the brine and the equipment surfaces. Controlling corrosion contributes to protect and preserve the environment quality in the geothermal field. Some corrosion cases in geothermal fields from Mexico and USA are presented and discussed in this paper.

Keywords: Corrosion, scaling, geothermal brines, corrosion control.

Introducción

La corrosión es un problema permanente en la industria y la economía en general, y en los campos geotérmicos y las plantas geotermoelectricas en particular. Provoca daños severos por deterioro de materiales, equipos, maquinarias, estructuras e instalaciones, por pérdida de tiempo de operación y producción y por accidentes de trabajo. Los pozos y las plantas deben funcionar con eficiencia industrial y seguridad laboral para asegurar su rendimiento económico. El control de la corrosión contribuye a la conservación y a la protección de la calidad del medio ambiente y los alrededores del campo geotérmico.

Salmueras Geotérmicas

Las salmueras geotérmicas contienen una alta concentración de sales minerales, disueltas y ionizadas, como cloruros y sulfatos. Debido a sus características fisicoquímicas estas sales generan corrosión localizada aumentando su intensidad y velocidad. La composición química de una salmuera geotérmica típica se presenta en la Tabla 1.

Componente	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO ₄	HCO ₃	SiO ₂
Concentración en ppm (mg/kg)	6429	1176	18.6	347	11735	15	303	1133

Tabla 1. Composición química de una salmuera típica de Cerro Prieto

Equipamiento de plantas geotérmicas

El equipo industrial, las estructuras y las instalaciones de los campos geotérmicos están construidos de materiales de ingeniería básicos como acero y concreto reforzado, este último con una porosidad muy baja para evitar la penetración de las salmueras y su futura corrosión. Algunos materiales plásticos, con alta resistencia al deterioro, reemplazan a los materiales metálicos. En la Tabla 2 se muestran los equipos usualmente utilizados en campos geotérmicos y sus materiales de construcción.

EQUIPO	MATERIALES
Tuberías y ductos	Acero, concreto reforzado
Bombas verticales y centrífugas	Acero, latón, bronce
Válvulas, grifos	Acero
Bridas, empaques	Acero, hule
Separadores	Acero.
Silenciadores	Concreto reforzado
Condensadores	Plásticos, hule
Torres de enfriamiento	Metálicos , plásticos
Canales de salmueras	Concreto reforzado
Lagunas de evaporación y sedimentación	Geotextiles
Instrumentos de monitoreo y seguridad	Metales, plásticos

Tabla 2. Equipos y materiales de construcción para pozos del campo geotérmico

Estos equipos sufren distintos tipos de desgaste y deterioro: erosión, alteración, fatiga, desintegración, envejecimiento (*aging*), y en particular corrosión húmeda. Las plantas geotérmicas de la región, tanto en el Valle de Mexicali, México, como en el Valle Imperial, California, usan aparte de acero y concreto

reforzado, aceros inoxidables, aleaciones de titanio y acero recubierto con cemento para prevenir o minimizar corrosión por los componentes ácidos de las salmueras.

Es interesante notar que algunos lagos hipersalinos cerrados, como el Salton Sea en California, el Great Salt Lake en Utah, y el Mar Muerto, entre Jordania e Israel, contienen salmueras muy concentradas pero con menor o nula corrosión, por su bajo contenido de oxígeno disuelto.

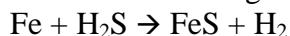
Corrosión, incrustación, deposición

Los factores dominantes de la corrosión son el oxígeno disuelto y la salinidad, esta última influyendo sobre la conductividad eléctrica de la salmuera. El ion cloruro (Cl^-) afecta a la capa pasiva de oxígeno de los aceros, dando inicio a la corrosión por picaduras.

La corrosión, la incrustación (*scaling*) y la deposición (*fouling*) aparecen en forma simultánea en la interacción de la superficie de los equipos con los componentes de las salmueras. Estos fenómenos están ligados a las condiciones de operación de las salmueras: régimen y velocidad de flujo, aireación, temperaturas, contaminaciones, sólidos en suspensión, etc.

Varios agentes y procesos corrosivos actúan en las salmueras geotérmicas:

- El magnesio, en forma de sales de cloruro y sulfato, MgCl_2 y MgSO_4 , ataca la superficie del concreto reforzado mediante hidrólisis ácida, penetrando y corroyendo las barras de acero del refuerzo.
- El ácido sulfídrico, H_2S , es un gas corrosivo y tóxico que se origina a partir de los cristales de pirita de origen hidrotermal en los pozos geotérmicos, por acidificación natural en temperaturas elevadas. La reacción con el hierro del acero es la siguiente:



Se forma una suspensión o depósito de sulfuro de hierro negro. El contenido de H_2S en pozos geotérmicos en México varía de 0.6 a 7.7 ppm.

- Presencia de oxígeno, O_2 , y de bióxido de carbono, CO_2 . La corrosión de metales activos como, el hierro y el acero, depende de la concentración de oxígeno disuelto, generando herrumbre:
$$2\text{Fe} + 3 \text{H}_2\text{O} + 3/2 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Fe(OH)}_3$$
 (hidróxido férrico)
Los pozos geotérmicos producen CO_2 por descomposición térmica y/o acídica de los carbonatos y bicarbonatos, reduciendo el pH y aumentando la corrosión.
- El gas amoniaco, NH_3 , es generado por descomposición química de compuestos nitrogenados como el kerogen. Sales del ion amonio (NH_4^+) corroen las aleaciones de cobre utilizadas para partes de bombas de pozos geotérmicos.
- Los depósitos de sílice amorfa obstruyen el flujo en las tuberías y canales de salmueras, provocando incrustaciones. El ácido silícico, H_4SiO_4 , ataca las estructuras de concreto.

Control de corrosión

La industria geotérmica invierte esfuerzos y presupuesto para mantener y reparar los elementos de su infraestructura afectados por corrosión. Un reciente estudio estima que se puede ahorrar entre un 20 y un 30% de ese gasto aplicando tecnologías conocidas de control de corrosión.

El método principal de control de corrosión es la selección correcta de materiales de construcción para los equipos y estructuras de los campos geotérmicos, de acuerdo a las condiciones específicas de cada uno. Además, se pueden aplicar dos tecnologías de protección anticorrosiva:

- Pinturas, recubrimientos y revestimientos especiales resistentes a la actividad fisicoquímica de las salmueras.
- Protección catódica por corriente eléctrica impresa o por ánodos de sacrificio de magnesio o aluminio según las características de las salmueras.

Existen bases de datos y sistemas expertos, ambos computarizados, que facilitan la selección de materiales resistentes a la corrosión, sus propiedades y la aplicación de monitoreo y control de corrosión en sistemas industriales.

Bibliografía

Charach, J., M. Schorr and E. Weintraub (1990). Corrosion and scaling behavior in Dead Sea Basin saline waters. *Corrosion Reviews*, 9 (3-2), pp. 293-352

Koch, G.H., M.P.H. Brongers, N.G. Thompson, Y.P. Virmani, and J.H. Payer (2002). Corrosion and preventive strategies in the United States, *Supplement to Materials Performance*, July 2002, pp. 1-18.

Manahan, S.E. (1993). *Fundamentals of Environmental Chemistry*. Lewis Publishers, Boca Raton, Fla..

Ocampo Diaz, J.D., B. Valdez, M. Schorr, I. Saucedo and N. Rosas (2005). Corrosion and scaling problems in Cerro Prieto geothermal field. Proceedings of the 2005 World Geothermal Congress, Turkey, pp. 1-5.

Quintero-Núñez, M., and A. Sweedler (2004). Energy profile of the Baja California-California Border Region. In: *Imperial-Mexicali Valleys Development and Environment of the US-Mexican Border Region*. Edited by K. Collins *et al.* San Diego State University Press, pp. 263-269.

Reed, M.J., and J.L. Renner (1994). Environmental compatibility of geothermal energy. In: *Alternative Fuels and the Environment*, CRC Press, Boca Raton, Fla.

Roberge, P.R. (2000). *Handbook of Corrosion Engineering*. Ed. McGraw-Hill, N.J.

Rogers, P.D. (1999). Effects of microbiological influenced degradation massive geothermal field concrete. *Corrosion Reviews*, 17 (3-4), p. 155.

Schorr, M., B. Valdez, M. Quintero-Núñez and R. Zlatev (2006). Effect of H₂S on corrosion in polluted waters: a review. *Corros. Eng. Sci. Technol.* 41 (3), pp. 221-227.

The Salton Sea Authority. <http://www.saltonsea.ca.gov> Acceso en Junio de 2006.

Valdez, B. (1993). Influence of elemental sulphur on corrosion of carbon steel in geothermal environments. *Corrosion Reviews*, 11 (3-4), p. 167.

Valdez, B. (1999). Corrosion Control in Geothermal Power Plants. *Corrosion Reviews*, 17 (3-4), pp. 157-293.