

INFLUENCIA DE CAMPOS MAGNÉTICOS VARIABLES EN LOS PROCESOS CORROSIVOS QUE AFECTAN A CAÑERÍAS ENTERRADAS

E. L. LÓPEZ, A. OSELLA,* L. A. MARTINO, A. FARJAT

Grupo de Geofísica Aplicada y Ambiental (GAIA) - Universidad de Buenos Aires – FCEyN
Pabellón 1 – Ciudad Universitaria - (1428) – Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina
e-mail: osella@df.uba.ar

Se realizaron ensayos en laboratorio para estudiar el comportamiento de la velocidad de corrosión en cañerías enterradas en medios con discontinuidad eléctrica sometidos a corrientes de inducción y de conducción.

Se construyeron modelos a escala de cañerías enterradas en diferentes suelos con contrastes resistivos 2D y se compararon los procesos corrosivos de las mismas bajo distintas condiciones externas. Se estimó la velocidad de corrosión aislando los caños del suelo y utilizando ánodos de sacrificio, midiéndose la pérdida de masa producto de la corrosión en cada caso. Los resultados obtenidos permitieron observar un aumento de la corrosión en las cañerías sometidas al campo magnético de baja frecuencia respecto de las cañerías en ausencia de inducción magnética.

Tests were made in laboratory to study the corrosion rates in pipes buried in media with lateral electrical discontinuities, due to the effect of conduction and induction currents.

Scale models were designed to simulate pipes embedded in soils with 2D electrical discontinuities and the corrosion processes due to different external sources were compared. The embedded pipes were electrically isolated using a polyurethane cover and sacrificial anodes were connected to the pipe; in this way corrosion rates were estimated by measuring the loss of mass in each anode. The results indicated an increase of the corrosion rate when the pipe was under the effect of induction currents, being noticeable also the dependence on the electrical contrast of the soil.

I. INTRODUCCIÓN.

La interacción entre el viento solar y el campo magnético de la tierra producen en la ionosfera y en la magnetosfera corrientes variables con el tiempo; dichas corrientes causan variaciones del campo geomagnético e inducen un campo eléctrico capaz de producir corrientes a lo largo de las cañerías enterradas⁽¹⁻³⁾. Estas corrientes inducidas geomagnéticas (GIC) pueden contribuir al incremento de la corrosión en las cañerías enterradas siendo este uno de los principales problemas en los tendidos de líneas de gas y de petróleo^(4 y 5).

Las variaciones del campo magnético de la tierra se pueden clasificar de acuerdo a la actividad solar, según sean producidas durante días geomagnéticamente quietos o perturbados. Los períodos de estas variaciones están comprendidos entre segundos hasta minutos (micropulsaciones) llegando hasta períodos diarios (variaciones diarias). En días perturbados la intensidad aumenta bruscamente, pudiéndose producir tormentas magnéticas que son las de mayor intensidad y cuyas frecuencias varían desde 10^{-5} Hz hasta 10 Hz. En la práctica estas variaciones más intensas pueden producir corrientes inducidas de varios centenares de amperes, provocando un aumento en la velocidad de corrosión del material de la cañería^(5 y 6). Sin embargo, existe otro efecto, que usualmente no es tenido en cuenta; este es la dependencia de la corriente inducida con respecto a la distribución de resistividades del medio que circunda a la cañería. Trabajos previos indican que cuando se modelan las corrientes inducidas como función de la resistividad del suelo, asumiendo que el mismo rodea a la tubería en forma uniforme, las corrientes aumentan

para suelos con mayor resistividad^(5 y 7). Cuando la cañería atraviesa terrenos con grandes contrastes resistivos, las discontinuidades de resistividad del medio producen un escape de corriente a través de los defectos en la cobertura de las cañerías, convirtiéndose la misma en corriente de corrosión⁽⁵⁾.

En este contexto, se construyeron modelos a escala con el objetivo de realizar estudios del comportamiento de la velocidad de corrosión en cañerías enterradas, en suelos con contrastes resistivos, afectadas por campos magnéticos externos de baja frecuencia (1 Hz) y se los comparó con el caso de cañerías idénticas pero en ausencia de inducción magnética.

II. MONTAJE EXPERIMENTAL.

Los modelos a escala utilizados consistían en un caño enterrado en un suelo con discontinuidades resistivas laterales, al cual se le aplicaba un campo magnético variable. Para cuantificar los efectos corrosivos se utilizaron ánodos de sacrificio que permitían obtener la velocidad de corrosión de los caños.

Generación del campo magnético.

Para inducir corriente en los caños se debió generar un campo magnético variable de frecuencia menor a los 10 Hz, que debía ser lo suficientemente uniforme como para colocar bajo su influencia caños de longitud aceptable; cabe aclarar que cuanto mayor longitud posee el caño, mayor es la corriente inducida

en el mismo y por consiguiente mayor el efecto de degradación del material.

Para generar dicho campo magnético se construyó una bobina a partir de un paralelepípedo de 90cm x 40cm x 30cm, alrededor del cual se enrollaron 250 vueltas de alambre de cobre de 1 mm² de sección; se diseñó además una fuente de alimentación cuya diferencia de potencial fuera de 30 Vpp capaz de generar una corriente de aproximadamente 2 A.

Para la fuente de alimentación se utilizó un generador de funciones Kenwood FG272, que aseguraba la posibilidad de manejar baja frecuencia. Esta fuente se conectó a un amplificador de alta potencia (hasta 150 W) diseñado y armado especialmente para esta experiencia. Un esquema del montaje, así como también el circuito del amplificador, puede observarse en la Fig. 1.

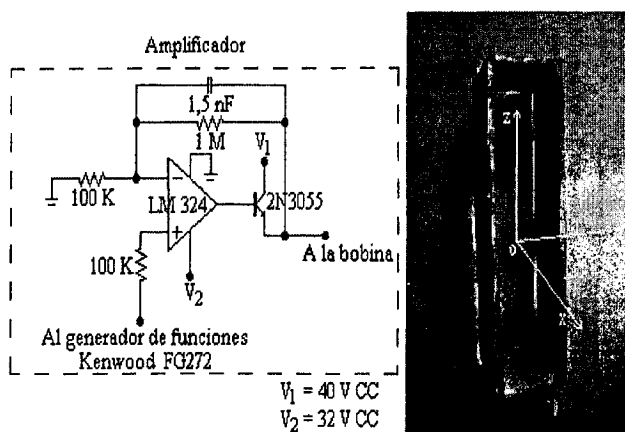


Figura 1 Circuito del amplificador y bobina utilizada para generar el campo magnético.

Se caracterizó el campo magnético en el interior de la bobina mediante una sonda Hall, obteniendo la distribución espacial del campo magnético como se observa en la Fig. 2.

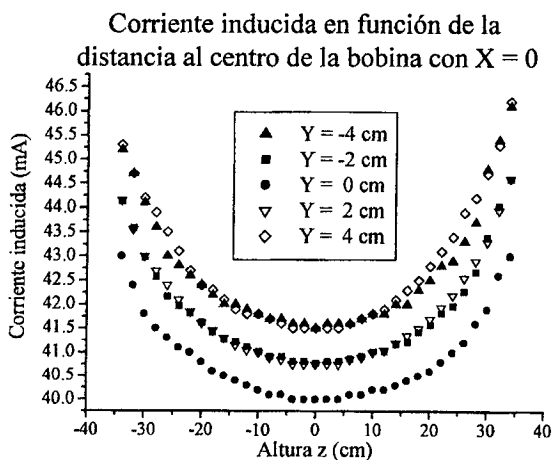


Figura 2 Distribución espacial del campo magnético

Se pudo concluir que para caños con longitud menor a 40 cm la diferencia del campo magnético entre el centro y el extremo del mismo no era mayor a 1,5 %, por lo cual puede considerarse al campo generado por la bobina prácticamente uniforme.

Ánodos de sacrificio.

Los ánodos de sacrificio usualmente se utilizan como agente protector de la corrosión en cualquier estructura que se encuentre en un medio agresivo. Consiste generalmente en un metal o aleación de potencial electroquímico más bajo que el material a proteger, colocándose al mismo en contacto directo con el medio, de forma tal que se corroa en forma "sacrificial"⁽⁸⁾.

Al estar los caños aislados del medio, los efectos corrosivos se producen sólo en los ánodos; por lo tanto, comparando el peso de los mismos antes y después de finalizada la experiencia, se puede obtener la cantidad de masa de hierro perdida durante la experiencia y, conociendo el tiempo de exposición, estimar la velocidad de corrosión.

La configuración utilizada se puede observar en la Fig.3, en un suelo con discontinuidades laterales 2D, de forma tal de generar contrastes resistivos; se colocó el caño protegido con varias capas de poliuretano para aislarlo eléctricamente del medio, conectándole ánodos de sacrificio mediante cables.

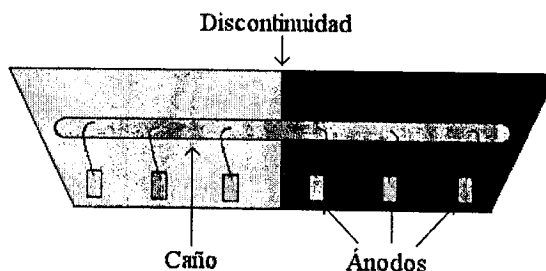


Figura 3 Esquema del montaje utilizado.

Los ánodos de sacrificio fueron pesados con una balanza de precisión Sartorius BP 210 S con un error de 0.0001 g.

III. EXPERIENCIAS REALIZADAS.

Arena-Arcilla-Arena.

Se colocaron tres caños de acero de 40 cm de longitud, 2,2 cm de diámetro exterior y 2 cm de diámetro interior en igualdad de condiciones en distintos recipientes con dos discontinuidades laterales arena-arcilla-arena.

Para acentuar la discontinuidad eléctrica del suelo la arena se encontraba seca, formando así un medio altamente resistivo, mientras que la arcilla posea un alto porcentaje de humedad. Es importante destacar que existían tres órdenes de magnitud de diferencia entre la conductividad eléctrica de la arena seca y la

arcilla humedecida. Se colocaron 7 ánodos en cada caño los ánodos 1, 2, 6 y 7 de cada recipiente se encontraban en arena; mientras que los ánodos 3, 4 y 5 se encontraban en arcilla.

Se utilizaron como ánodos de sacrificio, láminas de acero de 3,6 cm x 5 cm con un espesor de 0,2 cm y un peso aproximado de 27 gr.

En el primer recipiente se inyectó corriente en ambos extremos mediante electrodos de grafito utilizándose una fuente de tensión continua Hewlett Packard E3612A de 136,7 V; en estas condiciones se hizo circular una corriente de 2mA.

El segundo recipiente se colocó dentro de la bobina, quedando expuesto al campo magnético de baja frecuencia (1 Hz) generado por la misma.

Por último se utilizó al tercer recipiente como testigo para poder comparar los distintos procesos corrosivos entre sí.

Se mantuvieron, para los tres casos, las condiciones antes mencionadas durante 15 días, luego se retiraron los ánodos, se limpiaron con cepillo de cobre y fueron lavados primero con HCl diluido en agua y luego con agua destilada para remover todo vestigio tanto de óxido como del medio.

El porcentaje de peso perdido respecto de el peso inicial de los ánodos se pueden observar en las Fig. 4, 5 y 6.

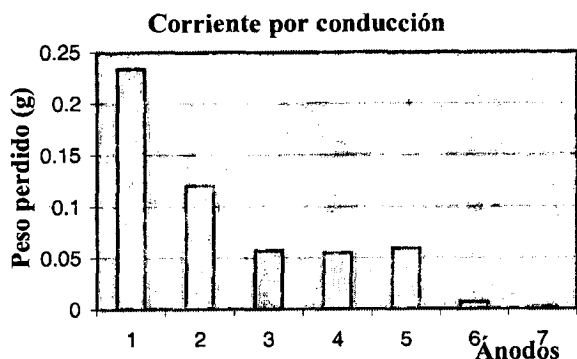


Figura 4 Porcentaje de peso perdido de los ánodos del caño sometido a conducción de corriente después de 15 días.

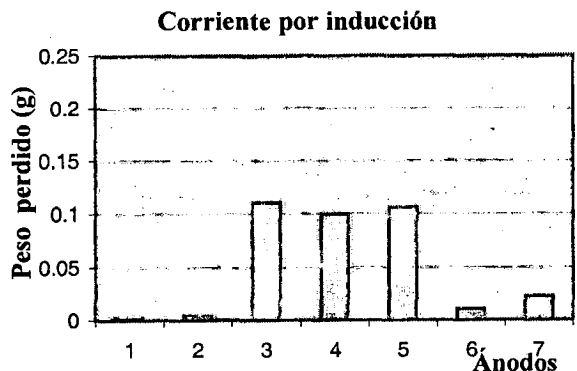


Figura 5 Peso perdido de los ánodos del caño sometido a corriente de inducción durante 15 días.

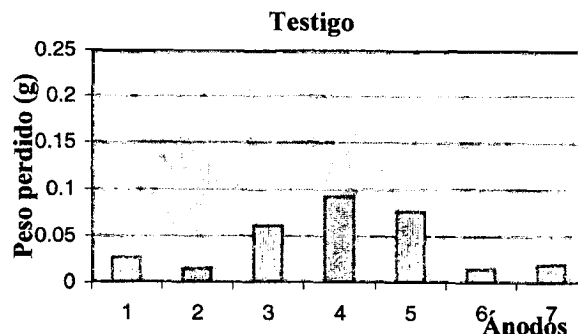


Figura 6 Peso perdido de los ánodos del caño testigo después de 15 días.

En la Fig.4. se observa que los efectos corrosivos provocados en los ánodos de sacrificio fueron disminuyendo desde el ánodo de la fuente externa hacia el cátodo de la misma (de izquierda a derecha de la misma), sin sentir la diferencia de resistividades del suelo en el que se encontraban enterrados.

En las Fig. 5 y 6 los ánodos a los cuales más afectó la corrosión fueron los que se encontraban en la zona de suelo más conductivo, esto es debido a que la misma se comporta como zona anódica facilitando la pérdida de electrones que son los responsables de la degradación del material. Los ánodos que se vieron afectados por el campo magnético perdieron más masa que los del caño testigo.

Se observa también que en la zona de suelo menos conductivo los ánodos que perdieron más masa son los del recipiente utilizado como testigo, esto fue debido a que los electrones sólo se vieron influenciados por el medio y por la diferencia de potencial del piso; esto hizo que la corrosión se distribuya en forma más homogénea entre todos los ánodos.

La velocidad de corrosión de los ánodos más afectados fue de aproximadamente 0,016 g /día para el caño afectado por corrientes de conducción, 0,008 g/día para el afectado por inducción y 0,007 g/día para el caño testigo.

Arena-Tierra.

Se colocaron dos caños en igualdad de condiciones en recipientes con una discontinuidad lateral de arena-tierra. Para obtener una discontinuidad de resistividades de alrededor un orden de magnitud, se utilizó arena seca con resistividad aproximada de 200 Ω.m y tierra húmeda cuya resistividad era inferior a 10 Ω.m.

El primer recipiente se colocó dentro de la bobina por la que se hizo circular una corriente de 2 A con una frecuencia de 1 Hz., mientras que el segundo se tomó como testigo protegiéndolo de cualquier factor externo.

Se colocaron 4 ánodos de sacrificio por caño, los ánodos 1 y 2 de cada recipiente se colocaron en la arena y los ánodos 3 y 4 en la tierra.

En este caso se utilizaron como ánodos de sacrificio, láminas de acero de 2,5 cm x 4 cm con un espesor de 0,07 cm y un peso aproximado de 6,7 gr.

Luego de 28 días se retiró a los ánodos del medio y se los limpió con la misma técnica de la experiencia previa; los resultados obtenidos para el porcentaje de peso perdido respecto de cada ánodo antes de la experiencia pueden verse en las Fig. 7 y 8.

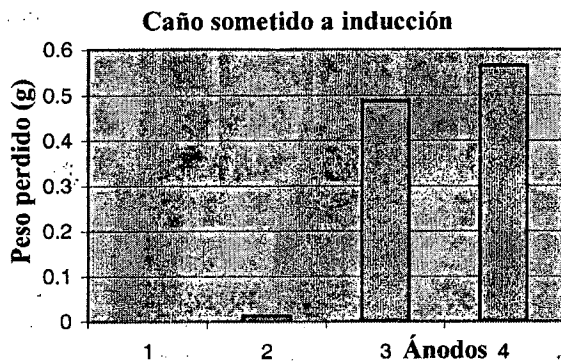


Figura 7 Peso perdido de los ánodos del caño sometido a inducción.

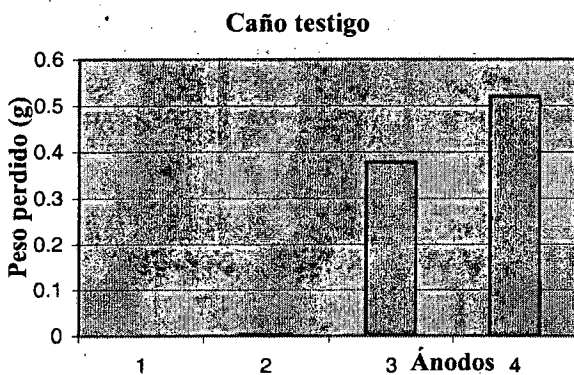


Figura 8 Porcentaje de peso perdido de los ánodos del caño testigo.

Se observó que los ánodos que más se corroyeron fueron los que se encontraban en el suelo con mayor conductividad (tierra). Obteniéndose mayor diferencia de peso en los ánodos del caño que se encontraba bajo la influencia del campo magnético.

La velocidad de corrosión para el ánodo más afectado fue de 0,019 g/día en el caso del caño que recibía la influencia del campo magnético y de 0,016 g/día para el caño testigo.

IV. CONCLUSIONES.

En ambas experiencias, para los caños testigo y para los caños afectados por corrientes de inducción, los ánodos más corroídos se encontraban en el suelo con mayor conductividad eléctrica; esto se debe a que esa zona se comporta como anódica, facilitando la pérdida de electrones.

En los ánodos pertenecientes al caño afectado por el campo magnético, se observó un mayor índice de corrosión respecto de los ánodos del caño testigo, comprobándose que los campos magnéticos de baja frecuencia (1 Hz.) aumentan la velocidad de corrosión en cañerías enterradas. Para el contraste arena-arcilla-

arena se observó que los ánodos afectados fueron corroídos un 14,2. % más que los del caño testigo; mientras que para el contraste arena-tierra este aumento fue del 18,7 %.

Resumiendo, uno de los resultados más interesantes es que, para los caños sometidos a corrientes inductivas, se observa un aumento en los porcentajes de masa perdida en los ánodos enterrados en las zonas cercanas a los contrastes resistivos, confirmando así resultados previos.

Referencias.

- 1 - Campbell W. H., Pure and Applied Geophysics, **116**, 1143-1173, (1978).
- 2 - Campbell W. H., Surveys in Geophysics, **8**, 239-259 (1986).
- 3 - Osella A., Fate A., López E., J. Applied Geophysics **38** (3), 219-233, (1998).
- 4 - Martin B. A., Corrosion, **49** (4), 343-350 (1993).
- 5 - Osella A., Favetto A., López E., Corrosion, **55** (7), 699-705, (1999).
- 6 - Waters F. O., 1st Int. Cong. on Metallic Corrosion, Butterworth and Co. Pub., 355-359 (1962).
- 7 - Osella A., Martinelli P., Favetto A., López E., IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, **40** (1), 197-205, (2002).
- 8 - Feliú S., Andrade M., Corrosión y Protecciones Metálicas", Consejo Superior de Investigaciones Científicas, vol. 1, Madrid, España (1991).