

## Determinación de la velocidad de corrosión en aceros AISI SAE 1010, 1020 y 1045 implantados con iones de titanio

### Determining corrosion rate of AISI SAE 1010, 1020, 1045 steels implanted with titan ions

Valbuena N., E. D.<sup>I,III</sup>; Garnica, H.<sup>I,II</sup>; Dugar-Zhabon, V.<sup>I</sup> y Herrera S., J. L.<sup>III</sup>

**Resumen.** El presente trabajo realiza un estudio comparativo de la influencia del contenido de carbono a la tasa de corrosión de aceros AISI SAE 1010, 1020 y 1045, empleando pruebas gravimétricas que se utilizan comúnmente en la industria de los hidrocarburos. Las superficies de las muestras gravimétricas (que se denominan también *cupones*) se tratan por descargas de alto voltaje y arco eléctrico a bajas presiones empleando la técnica de implantación iónica tridimensional (3DII) (Khvesyuk, 1997; Dugar-Jabon, 1999).

Las técnicas gravimétricas se fundamentan en la exposición de cupones a los procesos fisicoquímicos bajo los cuales se encuentren metales en los fluidos de hidrocarburos en las líneas de su producción y transporte. En esta técnica de diagnóstico, se miden los pesos de los cupones antes y después del tratamiento. Las medidas de peso permiten cuantificar las velocidades de corrosión y valorar el tiempo de vida útil de tuberías de transporte de hidrocarburos y los riesgos asociados con el desgaste del material de las tuberías. La aplicación de esta técnica es estándar para el sector de transporte de la industria de hidrocarburos.

Los resultados obtenidos tienen como referencia las aguas empleadas en producción de hidrocarburos y pueden posibilitar y dar aporte para solucionar los problemas debidos a corrosión de aceros AISI SAE 1010, 1020 y 1045 en medios de hidrocarburos.

- 
- I Grupo de Investigación en Física y Tecnología del Plasma (FITEK), Universidad Industrial de Santander, A.A. 678, Bucaramanga, Santander, Colombia.
  - II Corporación para la Investigación de la Corrosión (CIC), Piedecuesta, Santander, Colombia.
  - III Grupo de Investigación en Tecnología del Plasma (GINTEP), Universidad Pontificia Bolivariana, A.A. 2932, Bucaramanga, Santander, Colombia. Correo electrónico: ely.valbuena@upb.edu.co.

**Palabras clave:** acero al carbono, implantación iónica 3D, corrosión, gravimetría.

**Abstract.** The present paper is devoted to a comparative study of how carbon content affects the rate of corrosion in AISI SAE 1010, 1020 y 1045 steels of the gravimetric samples which are generally used in the hydrocarbon industry. The surfaces of the gravimetric samples (which are also termed as coupons) are treated by high voltage and arc discharges at low pressures with the tri-dimensional ion implantation technique (3DII).

The gravimetric techniques are based on the coupon exposure to physic-chemical processes which take place in the lines of production and transportation of hydrocarbon. This diagnostic technique requires measuring the initial and final weight of the coupons exposed to treatment. Weight measuring allows quantify the corrosion rate and estimate the useful life time of the transportation line tubes and the risks related to the wearing out of the material they are made. This technique is standard and is in common use in the hydrocarbon industry.

The obtained results are referred to the waters that are used in production of hydrocarbons and can be applied to solving the problems related to the corrosion in AISI SAE 1010, 1020 y 1045 steels in the hydrocarbon environment.

**Keywords:** carbon steel, ion implantation 3D, corrosion, gravimetry.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las investigaciones sobre el mejoramiento superficial de materiales metálicos expuestos en medios agresivos son de gran interés para el Laboratorio de Física y Tecnología del Plasma (FITEK) de la Universidad Industrial de Santander (Buck et al., 1996), que con asocio ala Corporación para la Investigación de la Corrosión (CIC), buscan solucionar los problemas de alto impacto económico en el sector hidrocarburo (Buck et al., 1996) con la técnica para el tratamiento superficial avanzado de descargas pulsadas de alto voltaje y de arco eléctrico a bajas presiones encendida en la rama izquierda de la curva de Paschen, como lo es la implantación iónica tridimensional 3DII (Dougar-Jabon, 2002; Dulce Moreno et al., 2011).

La gravimetría es una técnica consolidada en el sector hidrocarburo que estima de forma muy aproximada por exposición directa en campo la rapidez con la cual se pierde el espesor de la pared metálica en las tuberías.

Fontalvo et al. (2007) , evaluaron experimentalmente la resistencia a la corrosión de un acero AISI-SAE 4140 implantado con iones de nitrógeno mediante implantación

iónica tridimensional (3DII). Las muestras fueron evaluadas con pruebas electroquímicas EIS, Rp y Tafel, con el objeto de evaluar la influencia de la rugosidad de dicho acero implantado frente a la corrosión (Peña et al., 2010; Valbuena et al., 2010).

Mello et al. (2010) , modificaron por medio de implantación iónica vía plasma la superficie de muestras de acero SAE 1070. Las pruebas demostraron que la corrosión de la película de cromo formada debido a la implantación aumenta el potencial de corrosión, y convierte el material más noble y disminuye la densidad de corriente de corrosión, lo cual mejora la resistencia a la corrosión del acero al carbono SAE 1070.

Arguello et al. (2010), evaluaron experimentalmente la resistencia a la corrosión de un acero AISI SAE 1010 implantado con iones de nitrógeno y titanio, mediante las técnicas electroquímicas de RP, EIS y Tafel.

La implantación iónica tridimensional empleada como tratamiento de modificación superficial de aceros y aleaciones comerciales en la industria es de gran importancia en el estudio del comportamiento de estos materiales en la mejora de las propiedades superficiales, tales como el desgaste, la dureza y la resistencia a la corrosión. Entre los papeles más importantes que desempeñan estos iones implantados en la resistencia a la corrosión, se puede determinar: la aceleración de la formación de una capa protectora, el aumento de la plasticidad de las capas de óxido para evitar su fractura y, por ende, su desprendimiento y reducir la velocidad de oxidación del óxido que se forme (Valbuena et al., 2011; Valbuena et al., 2011).

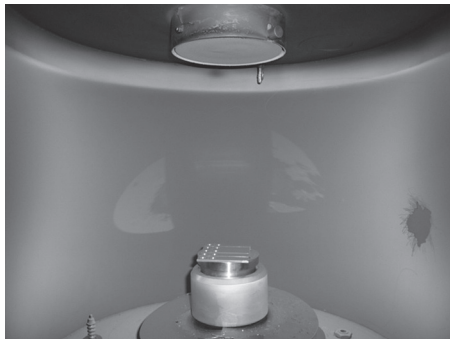
## 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Se preparan cupones rectangulares planos de dimensiones 3" x 3/4" x 1/8" con dos orificios de diámetro 5/16" (empleados para sujetar el cupón y aislarlo eléctricamente) en acero AISI SAE 1010, 1020 y 1045, como se muestra en la figura 1. Las muestras son preparadas superficialmente con chorro de arena hasta lograr rugosidades de 0,02 a 0,03 mm.

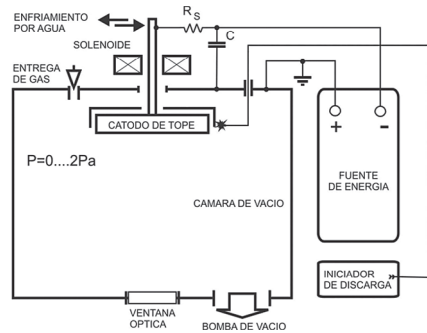


**Figura 1.** Cupon gravimétrico rectangular plano en estado natural. (Fuente: Los autores).

Los cupones para modificar superficialmente son ubicados en el cátodo de la cámara de descargas del reactor de modificación superficial de metales (Mosmet) (ver figura 2).



a)



b)

**Figura 2.a).** Fotografía de los cupones en la cámara de descargas del reactor Mosmet. (Fuente: Los autores).

**Figura 2.b).** Esquema principal del funcionamiento del sistema de arco eléctrico. (Fuente: Los autores).

Las muestras se implantan con iones de titanio mediante descargas pulsadas de alto voltaje y arco eléctrico en la superficie de las dos caras. Antes del tratamiento los cupones son sometidos a un *sputtering* (limpieza superficial) con gas de nitrógeno durante 25 min. Los parámetros establecidos durante la modificación superficial de los cupones de acero AISI SAE 1010, 1020 y 1045 se muestran en la tabla 1.

**TABLA 1.** Parámetros de la descarga

Proceso	Elemento	Tiempo de exposición	Voltaje	Frecuencia	Duración del pulso	Presión de descarga
Implantación	N2	25 min	5 Kv	30 Hz	0,25 ns	3,2 - 2,5 Pa
Implantación	Ti	10 min	5 Kv	30 Hz	0,25 ns	0,25 - 0,20 Pa
Implantación	Ti	10 min	10 Kv	30 Hz	0,25 ns	0,220 - 0,190 Pa

Fuente: Los autores

### 3. ANÁLISIS EXPERIMENTAL

El experimento consiste en realizar pruebas gravimétricas según las normas NACE RP 0775-05 (NACE, 2005) y ASTM G1-90 (ASTM, 1999) con el objetivo de cuantificar las pérdidas de peso de los cupones no tratados y tratados superficialmente con iones de titanio y, finalmente, mostrar los aumentos en la vida útil.

Para determinar la velocidad de corrosión por este método hay que someter el material en estudio a un ataque del agente corrosivo durante un periodo bastante largo. Una vez finalizado el ataque, se determina el cambio de peso que el material experimenta con el fin de obtener la velocidad de corrosión en milésimas de pulgadas de material perdido por año transcurrido en un área de material expuesto.

El área de las muestras inmersas en un litro de solución, cuya concentración de cloruros es 3050 ppm y sulfatos de 338,12 ppm durante 60 días, es aproximadamente  $3466,445 \text{ mm}^2$ . En la figura 3, se muestra el montaje de los cupones por duplicado antes de la inmersión y en la figura 4 inmersos en la solución de salmuera.

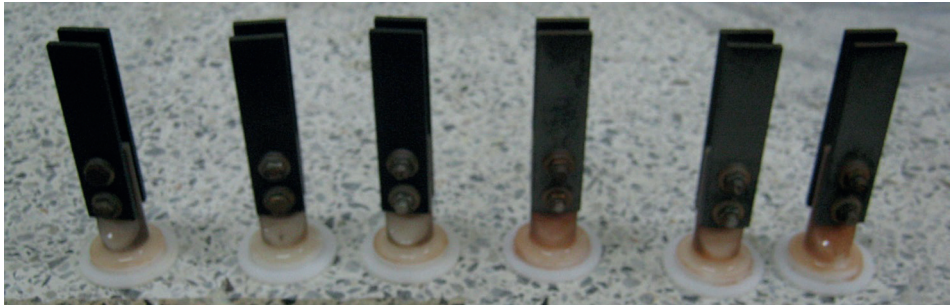
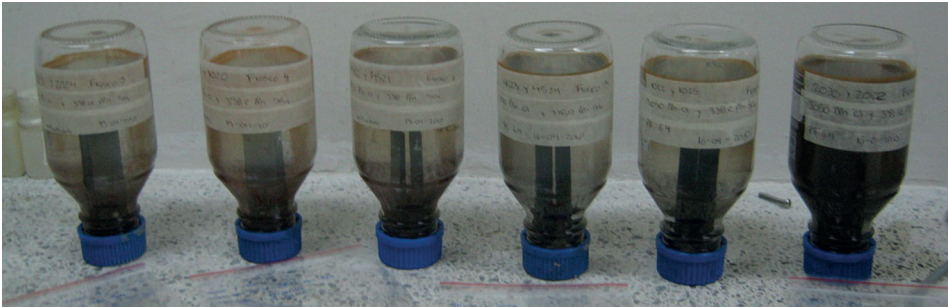


FIGURA. 3. Montaje de los cupones por duplicado

Fuente: Los autores



**FIGURA 4.** Montaje de los cupones por duplicado en la solución de salmuera

Fuente: Los autores

En la tabla 2, se reportan las cantidades de cupones analizados en el montaje experimental.

**TABLA 2.** Referencia de la cantidad de cupones

Material AISI SAE	Cupón	Cantidad
1010	Blanco	2
1020	Blanco	2
1045	Blanco	2
1010	Implantado con Ti de referencia	1
1020	Implantado con Ti de referencia	1
1045	Implantado con Ti de referencia	1
1010	Implantado con Ti	2
1020	Implantado con Ti	2
1045	Implantado con Ti	2

Fuente: Los autores

#### 4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos por métodos gravimétricos en cupones de acero AISI SAE 1010, 1020 y 1045 tratado y no tratado superficialmente con iones de titanio se reportan en la tabla 3. El deterioro o pérdida de material es cuantificado por medio de la velocidad de corrosión, la cual permite estimar la pérdida de espesores al año por área expuesta a un medio agresivo.

En la tabla 3, se observa que el deterioro del material en milésimas de pulgadas por año del acero AISI SAE 1010 es mayor con respecto al AISI SAE 1020 y 1045 tanto para el no tratado como para el tratado superficialmente. De igual forma se aprecia que el acero AISI SAE 1010 presenta una mayor disminución de la velocidad de corrosión respecto del 1045 y del 1020.

**TABLA 3.** Velocidades de corrosión

Material AISI SAE	Cupón	Velocidad de corrosión
1010	Blanco	1,3 mpy
1020	Blanco	0,8 mpy
1045	Blanco	0,6 mpy
1010	Ti	0,6 mpy
1020	Ti	0,6 mpy
1045	Ti	0,45 mpy
mpy: milésimas de pulgada por año		

Fuente: Basado en las normas NACE RP 0775-05 y ASTM G1-90

## 5. CONCLUSIONES

El tratamiento superficial de los aceros AISI SAE 1010, 1020 y 1045 mediante la técnica 3DII con iones de titanio realizada en el reactor Mosmet presentó un mejoramiento significativo de resistencia a la corrosión fisicoquímica.

El experimento evidencia que el proceso es eficiente en la reducción del daño del sustrato metálico ocasionado por soluciones de salmuera.

Se evidencia superficialmente la decoloración y la formación de productos de corrosión en los cupones no implantados; dicha decoloración es poco evidente en cupones implantados.

La velocidad de corrosión del cupón de acero AISI SAE 1010 es más evidente debido a su bajo contenido de carbono; sin embargo, al ser implantado se atenúa de manera significativa dicha velocidad de corrosión.

## AGRADECIMIENTOS


Al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias), por la financiación del proyecto “Estudio de un Nuevo Método de Modificaciones de Superficies de Metales (Mosmet)”, con código 1102-06-17823.

A Piotr A. Tsygrankov Ph.D., profesor asociado al Departamento de Ingeniería del Plasma de la Universidad de Barman, Moscú.

## REFERENCIAS

- Arguello Quiroga, A. y Sánchez Sarmiento, J. C. (2010). *Evaluación experimental de la implantación de iones de Ti y N en la resistencia a la corrosión en el acero al carbono AISI SAE 1010*. Tesis de grado. Santander, Carrera de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales.
- ASTM G1-90 e1. Standard practice for preparing, cleaning, and evaluating corrosion test specimens. 1999.
- Buck, E.; Maddux, G. C. y Sullivan, R. L. (1996). Internal corrosion cost impact study- United States natural gas exploration and production industry. *Gas Research Institute*, 96 (56), 1466.
- Dougar-Jabon, V.; Castro, B. J.; Dulce, H. J., y Tsygankov, P. (1999). Device JÚPITER for ion implantation. *Revista Colombiana de Física*, 31(2), 181-184.
- Dugar-Zhabon, V. (2005). *Estudio de un nuevo método de modificación de superficies de metales (Mosmet)*. (Proyecto Colciencias 321/2005). Bogotá: Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias).
- Dougar-Jabon, V. D.; Dulce Moreno, J. y Tsygankov, P. A. (2002). High voltage pulse discharge for ion treatment of metals. *Review of Scientific Instruments*, 73, 828-830.
- Dulce Moreno, J. H.; Tsygankov, P. A.; Dugar-Zhabon, V. D.; V. Niño, E. D. y Parada, F. F. (2011). Estudio de los haces electrónicos en la descarga eléctrica de alto voltaje a bajas presiones. *Puente Revista Científica*, 5(2), 21-26.
- Fontalvo, C. P. (2007). *Evaluación experimental de la resistencia a la corrosión de un acero AISI-SAE 4140 implantado con iones de nitrógeno*. Tesis de grado. Santander, Carrera de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales.
- Khvesyuk, V. I. y Tsygankov, P. A. (1997). The use of a high-voltage discharge at low pressure



- for 3d ion implantation. *Surface and Coatings Technology*, 96, 68-74.
- NACE RP 0775. Preparation, installation, analysis, and interpretation of corrosion coupons in oilfield operations. 2005.
- Peña, D.; Fontalvo, C. P.; Estupiñán, H., V. Niño, E. D. y Vesga, W. (2009). Experimental evaluation of corrosion resistance of an AISI-SAE 4140 steel implanted with nitrogen ions. *Revista Dyna*, 76(159), 43-52.
- V. Niño, E. D.; Tsygankov, P.; Plata, A.; Ochoa, C.; Parada, F.; Chacón, C., y Dugar-Zhabon, V. (2011). Study of volt-ampere characteristics and functioning peculiarities of a vacuum arc sprayer. *Revista Colombiana de Física*, 43(2), 458-462.
- Valbuena Niño, E. D.; Dulcé, H. J. y Dugar-Zhabon, V. (2010). Caracterization of AISI 4140 steel implanted by nitrogen ions. *Revista Colombiana de Física*, 42(3), 387-392.
- Mello, C.B. (2010). Surface modification of SAE 1070 by chromium using plasma immersion ion implantation and deposition. *Surface & Coatings Technology*, 204, 2971-2975.
- Valbuena Niño, E. D.; Garnica, H.; Dugar-Zhabon, V.; Martínez, D. y Duran, F. (2011). Caracterization of API 5LX 65 steel gravimetric coupons implanted by nitrogen and titanium ions. *Revista Colombiana de Física*, 43(1), 134-137.
- Valbuena Niño, E. D.; Peña, D.; Salinas, D. V. y Chinchilla, L. F. (2011). Modificación superficial de un acero AISI SAE 1045 mediante la implantación de iones de nitrógeno y titanio. *Revista Iteckne*, 8(1), 31-36 

Referencia	Fecha de recepción	Fecha de aprobación
E. D. V. Niño, H. Garnica, V. Dugar-Zhabon, J. L. Herrera S. Determinación de la velocidad de corrosión en aceros AISI SAE 1010, 1020 y 1045 implantados con iones de titanio <i>Revista Tumbaga</i> (2012), 7, 37-45	Día/mes/año 6/11/11	Día/mes/año 20/03/12