

## Recubrimientos Ni-P negros con capa de Al y su capacidad de absorción solar

### Black Ni-P with Al coating and solar absorption capacity

SOSA-DOMÍNGUEZ, Adrián†\*, RAZZÓN-HERNÁNDEZ, Fernando, REA-LÓPEZ, Miguel Ángel y CORONEL-HERNÁNDEZ, José de Jesús

Universidad Autónoma de Querétaro, C. U. Facultad de Química. Cerro de las Campanas s/n, Colonia Las Campanas, Qro., México

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Adrián Sosa-Domínguez* / ORC ID: 0000-0001-9191-338X, Researcher ID Thomson: G-7872-2018, CVU CONACYT ID: 392527

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Fernando, Razzón-Hernández*

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Miguel Ángel, Rea-López*

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *José de Jesús, Coronel-Hernández*

Recibido 08 Abril, 2018; Aceptado 30 Junio, 2018

#### Resumen

La contaminación ambiental y la crisis de energía en el mundo ha motivado al aprovechamiento de la energía solar, la cual tiene dos características: es limpia y renovable. El objetivo de este trabajo fue la obtención de un recubrimiento de Ni-P vía electroless a partir de un baño ácido de sulfato de níquel. Posteriormente el recubrimiento Ni-P se sometió a un proceso de oxidación de la superficie con una solución ácida con el objetivo de fabricar Ni-P negro cuyo material ha demostrado tener excelentes propiedades absorbentes solares. Se aplicó una capa nanométrica de aluminio por PVD con el fin de estudiar el efecto de esta en la capacidad de reflexión solar del Ni-P negro e identificar si cuenta con la capacidad de ser utilizado como recubrimiento selectivo solar. Se obtuvieron espectros de reflectancia en la región del espectro electromagnético de 400 a 16000 nm, los espectros mostraron un material con un valor de reflectancia cercano a 10 por ciento y valores de absorbancia entre 80% y 90%. Los resultados indican la capacidad del aluminio como recubrimiento selectivo solar con mayor capacidad de reflexión en la región del espectro electromagnético de 2 a 15  $\mu\text{m}$ .

#### Recubrimientos, Ni-P, Solar

#### Abstract

The environmental pollution and the energy crisis in the world has motivated the use of solar energy, which has two characteristics: it is clean and renewable. The objective of this work was to obtain an electroless Ni-P coating from an acid bath of nickel sulphate. Subsequently, the Ni-P coating was subjected to a process of oxidation of the surface with an acid solution with the objective of manufacturing black Ni-P whose material has been shown to have excellent solar absorbing properties. A nanometric layer of aluminum was applied by PVD in order to study the effect of this on the solar reflection capacity of the black Ni-P and to identify if it has the capacity to be used as a selective solar coating. Reflectance spectra were obtained in the electromagnetic spectrum region from 400 to 16000 nm, the spectra showed a material with a reflectance value close to 10 percent and absorbance values between 80% and 90%. The results indicate the capacity of aluminum as a selective solar coating with greater reflection capacity in the electromagnetic spectrum region of 2 to 15  $\mu\text{m}$ .

#### Coatings, Ni-P, Solar

**Citación:** SOSA-DOMÍNGUEZ, Adrián, RAZZÓN-HERNÁNDEZ, Fernando, REA-LÓPEZ, Miguel Ángel y CORONEL-HERNÁNDEZ, José de Jesús. Recubrimientos Ni-P negros con capa de Al y su capacidad de absorción solar. Revista de Energía Química y Física. 2018. 5-15: 1-5.

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: [adrian.sosa@uaq.mx](mailto:adrian.sosa@uaq.mx))

† Investigador contribuyendo como primer autor

## Introducción

Los recubrimientos negros han cobrado relevancia en la comunidad científica debido a sus aplicaciones como materiales absorbentes solares y entre otros como recubrimientos decorativos. [1,10]. Se han propuesto la realización de recubrimientos negros sobre aleaciones de titanio y otros sustratos con excelentes propiedades absorbentes solares [2]. En este trabajo se utilizará un acero al carbono AISI 1018 como sustrato.

Las aleaciones Ni-P han tenido gran aceptación en el campo de los recubrimientos debido a sus excelentes propiedades como dureza, características magnéticas, propiedades de resistencia a la corrosión y al desgaste [4-6]. El fósforo puede depositarse con níquel resultando en la formación de una aleación de Ni-P. El contenido de fósforo puede alcanzar entre 1 % y 15% en peso, en base a lo anterior se puede clasificar como una aleación de bajo fósforo (1-4%), medio fósforo (5-9%) y alto fósforo (más de 10%) [7].

Los recubrimientos absorbentes con propiedades ópticas selectivas pueden ser aplicados en sustratos colectores por varias técnicas incluyendo deposición al vacío, métodos de asperción, sol-gel, electrodeposición [8]. En este trabajo se utilizará la técnica electroless para realizar el depósito de Ni-P sobre un sustrato de acero AISI 1018.

Los recubrimientos níquel electroless se fabrican mediante un proceso autocatalítico que produce un depósito de níquel sobre un sustrato catalíticamente activo. El hipofosfito reduce los iones metálicos de la solución siendo el principio utilizado en los recubrimientos electroless. Debido a la presencia de fósforo en los depósitos de níquel electroless son fáciles de ser atacados por ácidos con fuerte poder oxidante obteniéndose una superficie negra con propiedades absorbentes [11].

Una superficie absorbente selectiva esta caracterizada por tener un alto valor de absorbancia y baja emitancia solar [12]. Estas características incrementan la efectividad absorbente e incrementa la transferencia de calor entre la superficie absorbente y el medio de transferencia [9].

Los recubrimientos solares selectivos permiten que la radiación solar entrante pase a través de ella y bloqueen la emisión de radiación térmica de longitud de onda más larga. Por lo tanto, ayudan a capturar la energía radiativa para lograr altas temperaturas. Hay muchos tipos de recubrimientos basados en diferentes mecanismos de absorción tales como trampa de luz, recubrimientos particulados, capas semiconductor-metálicas, películas multicapa, efectos de tamaño cuántico y absorción intrínseca.

Además de tener una estabilidad térmica a largo plazo, estos recubrimientos deben tener una alta capacidad de absorción en el rango espectral de 0,3-2,5  $\mu\text{m}$  y baja emisividad en el rango del infrarrojo lejano (0,7  $\mu\text{m}$  en adelante) para un rango de temperatura de funcionamiento dado. La característica óptica de un recubrimiento se define en términos de "selectividad solar", que es la relación entre la absorptividad solar y la emisividad a una temperatura dada. Mejorando la característica óptica y haciéndola térmicamente estable a altas temperaturas, con el tiempo aumentará la temperatura del fluido de trabajo, mejorando así la eficiencia general de los colectores solares [13]. Es por lo anterior que se busca que una capa de aluminio nanométrico funcione como un recubrimiento solar selectivo que permite obtener excelentes propiedades de absorción solar en un rango de 400 a 16000 nm.

## Metodología

### Materiales y Métodos

Se cortaron placas de acero al carbono AISI 1018 de 2.5 cm por 7.5 cm, posteriormente se realizó una preparación de las mismas pasándolas por papel lija de tamaño de grano 2400. Se preparó un baño ácido de Ni-P para realizar el depósito de Ni-P sobre el acero 1018, lo anterior bajo las condiciones mostradas en la Tabla 1.

pH	4.5-5
Temperatura (°C)	88-90
Fuente metálica	Sulfato y cloruro de níquel
Agente reductor	Hipofosfito de sodio
Agentes complejantes	Citrato de sodio
Estabilizadores	Tiourea y acetato de sodio
Ajustadores de pH	Hidróxido de sodio y ácido sulfúrico

**Tabla 1** Condiciones del baño del depósito de Ni-P

Fuente: [14]

Después de preparado el baño ácido Ni-P se introdujo por inmersión la placa de acero al carbono por espacio de 180 minutos. Después de transcurridos los 180 minutos se realizó un ataque con ácido nítrico 9 M por aproximadamente 20 segundos.

La preparación de los recubrimientos de aluminio por medios físicos como lo es la técnica de PVD (Physical Vapor Deposition por sus siglas en inglés) se realizaron bajo los siguientes parámetros de operación: presión inicial  $3.2 \times 10^{-5}$  mbar, presión de trabajo  $2 \times 10^{-3}$  mbar, flujo de argón  $18 \text{ cm}^3$ , potencia 100 W y un tiempo de trabajo de 5 segundos. A continuación, en la Figura 1 se muestra un esquema de los depósitos formados.

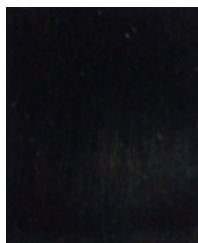


**Figura 1** Esquema de las diferentes capas formadas  
Fuente: Elaboración Propia

Un espectrofotómetro Ocean Optics USB2000 con una esfera de integración fue usado para obtener los espectros en la región del espectro electromagnético UV-Vis. La región del espectro MIR/NIR fue medida usando un espectrofotómetro Perkin Elmer FTIR con una esfera de integración de 2 a 15 mm.

## Resultados

En la Figura 2, se muestra una fotografía del recubrimiento Ni-P después de ser atacado con ácido nítrico por aproximadamente 20 s y con un recubrimiento de Al aplicado por PVD.

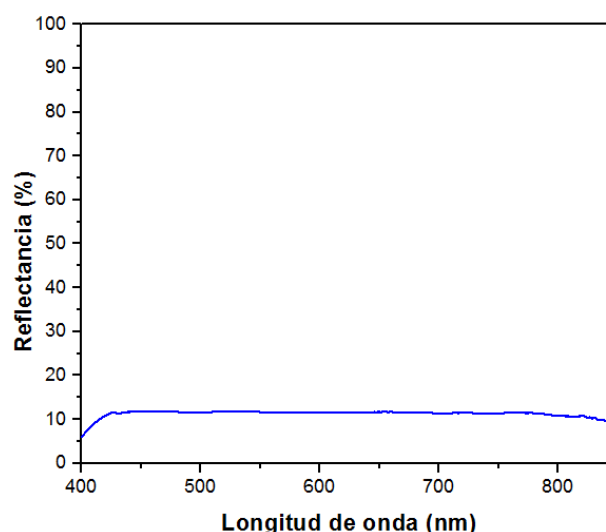


**Figura 2** Recubrimiento Ni-P negro  
Fuente: Elaboración Propia

La reflectancia es la capacidad que tiene un cuerpo de reflejar la luz. Un recubrimiento selectivo solar ideal (absorbente solar) debe tener un alto coeficiente de absorción y baja emitancia.

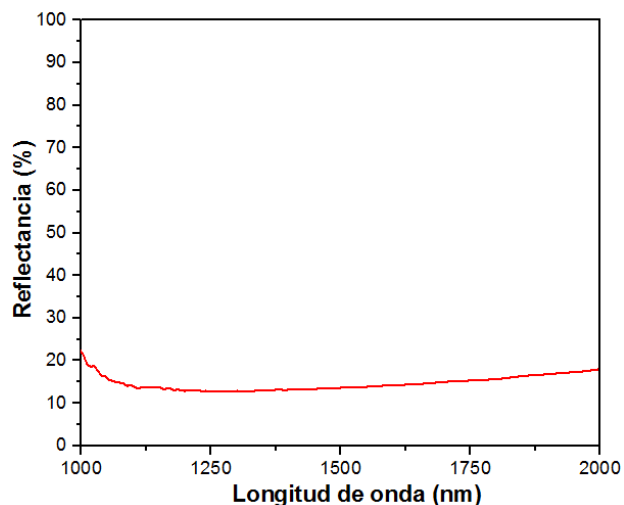
Las superficies negras como las fabricadas en este trabajo, son usadas como recubrimientos por su baja reflectancia en instrumentos ópticos y sensores que realizan mediciones en la región espectral ultravioleta, infrarrojo y visible.

En el Gráfico 3 se muestra el espectro de reflectancia para Ni-P negro con recubrimiento de Al preparado en la región visible del espectro electromagnético en donde se pueden observar valores de porcentaje de reflectancia bajos lo cual trae como consecuencia valores de absorbancia en esa región aproximadamente del 90% al 95%, lo cual indica que estas superficies son capaces de absorber en gran medida la radiación proveniente del sol en esa región del espectro.



**Gráfico 3** Espectro de Reflectancia de un recubrimiento Ni-P negro con Al en la región del espectro electromagnético visible-infrarrojo cercano  
Fuente: Elaboración Propia

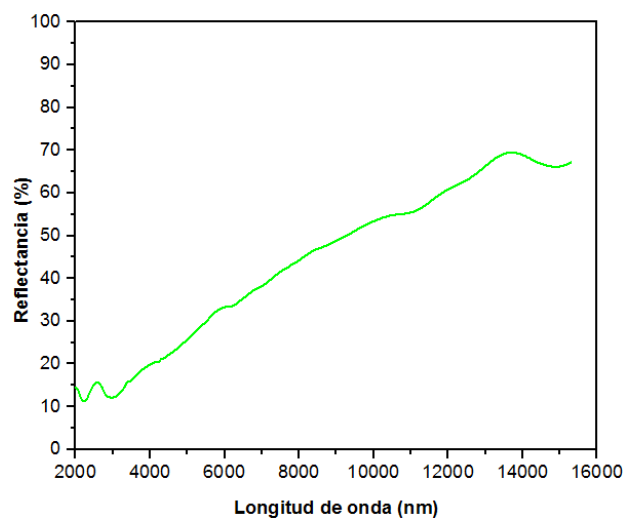
En el Gráfico 4 se puede observar un comportamiento similar a la región visible siendo con un porcentaje alto de absorción para el recubrimiento de Al con porcentajes de 90% aproximadamente. La superficie de Ni-P negro con recubrimiento de Al exhibe un excelente valor de absorción y sin rastros de corrosión como se puede observar en la Figura 2, por lo que lo anterior podría indicar que sería la superficie idónea para absorber en la región del espectro visible-infrarrojo cercano. En el Gráfico 4 se puede observar un comportamiento similar a la región visible siendo los de un porcentaje más alto de absorción el recubrimiento de Al y el recubrimiento Ni-P negro de doble capa con porcentajes de 90% y 96% aproximadamente [14].



**Gráfico 4** Espectro de Reflectancia de un recubrimiento Ni-P negro con Al en la región del espectro electromagnético infrarrojo cercano-infrarrojo medio

Fuente: *Elaboración Propia*

En el Gráfico 5 se muestra el espectro de reflectancia para las mismas superficies pero ahora utilizando una longitud de onda de 2000 nm a 16 000 nm correspondiente a la región del infrarrojo medio del espectro electromagnético,



**Gráfico 5** Espectro de Reflectancia de un recubrimiento Ni-P negro con Al en la región del espectro electromagnético infrarrojo medio-infrarrojo lejano

Fuente: *Elaboración Propia*

En el este espectro del Gráfico 5 es posible observar que el porcentaje de reflectancia se va incrementando conforme se incrementa la longitud de onda, es decir conforme se va acercando a la región del infrarrojo lejano. Lo anterior es indeseable debido a que comienza la zona de emisión de las superficies y por lo tanto la pérdida de energía en forma de calor.

Si bien se lograron obtener porcentajes de absorción altos alrededor del 90% comparados con respecto a otros materiales similares es importante destacar que por medio de esta investigación se pretende sugerir el uso de aluminio como recubrimiento selectivo solar y además que protega al recubrimiento Ni-P negro del proceso de corrosión con el fin de no disminuir sus propiedades absorbentes solares [14,15].

### Agradecimiento

El primer autor externa su gratitud a la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) en la Facultad de Química y al CEACA (Centro de Estudios Académicos sobre Contaminación Ambiental) por las facilidades otorgadas para el desarrollo de esta investigación.

### Conclusiones

El recubrimiento Ni-P con una capa de aluminio preparado mostró una excelente capacidad de absorción de radiación solar con un 90%-95% de eficiencia cubriendo longitudes de onda desde 300 nm hasta 2,000 nm.

Es posible observar en el espectro de reflectancia que a partir de 2,000 nm hay un incremento del porcentaje de reflectancia por lo cual el porcentaje de absorción disminuye considerablemente, lo anterior podría evitarse colocando una capa de un recubrimiento selectivo que disminuya la emisión y por lo tanto el porcentaje de absorbancia se mantenga alrededor del 90%.

Se logró realizar un depósito de Ni-P negro con una capa de aluminio con una capacidad de absorción importante, lo anterior nos podría permitir desde el punto de vista tecnológico colocar placas de estos materiales que ayuden a la captación de energía solar para su posterior aprovechamiento.

Se realizó la aplicación de un recubrimiento selectivo solar como lo fue el aluminio por medio de la técnica de PVD sin disminuir las propiedades de absorción del recubrimiento Ni-P negro, además de que la capa de aluminio puede servir como protección contra la corrosión para alargar el tiempo de vida de las superficies absorbentes una vez puestas en funcionamiento.

## Referencias

- [1] Xing, F., Zhao, B., & Shi, W. (2013). Study on tunable fabrication of the ultra-black Ni-P film and its blackening mechanism. *Electrochimica Acta*, 100, 157–163.
- [2] Uma Rani, R., Sharma, a. K., Minu, C., Poornima, G., & Tejaswi, S. (2010). Studies on black electroless nickel coatings on titanium alloys for spacecraft thermal control applications. *Journal of Applied Electrochemistry*, 40(2), 333–339.
- [4] Mu, S., Li, N., Li, D., & Zou, Z. (2009). Investigation of a transparent chromate (III) passive film on electroless Ni-P coating by XPS and electrochemical methods. *Electrochimica Acta*, 54(26), 6718–6724.
- [5] Madram, A. R., Pourfarzad, H., & Zare, H. R. (2012). Study of the corrosion behavior of electrodeposited Ni-P and Ni-P-C nanocomposite coatings in 1 M NaOH. *Electrochimica Acta*, 85, 263–267.
- [6] Abdel Hameed, R. M., & Fekry, a. M. (2010). Electrochemical impedance studies of modified Ni-P and Ni-Cu-P deposits in alkaline medium. *Electrochimica Acta*, 55(20), 5922–5929.
- [7] Cui, G., Li, N., Li, D., Zheng, J., & Wu, Q. (2006). The physical and electrochemical properties of electroless deposited nickel-phosphorus black coatings. *Surface and Coatings Technology*, 200(24), 6808–6814.
- [8] Lizama-Tzec, F. I., Macías, J. D., Estrella-Gutiérrez, M. a., Cahue-López, a. C., Arés, O., de Coss, R., ... Oskam, G. (2014). Electrodeposition and characterization of nanostructured black nickel selective absorber coatings for solar-thermal energy conversion. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 26(8), 5553–5561.
- [9] John, S. (1997). Electrodeposition of nickel black solar absorber coatings. *Metal Finishing*, 95(6), 84–86.
- [10] He, F., Su, H., Ju, H., Tan, L., & Zhou, Q. (2012). A new blackening process for NiWP alloy deposits. *Surface and Coatings Technology*, 213, 133–138.
- [11] Saxena, V., Rani, R. U., & Sharma, a. K. (2006). Studies on ultra high solar absorber black electroless nickel coatings on aluminum alloys for space application. *Surface and Coatings Technology*, 201(3-4), 855–862.
- [12] Shashikala, a. R., Sharma, a. K., & Bhandari, D. R. (2007). Solar selective black nickel-cobalt coatings on aluminum alloys. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91(7), 629–635.
- [13] D.K. Kaushal. An overview of solar thermal devices based solar water heating systems & the necessity of using solar selective coating. *Renew. Energy*. 10 (1997) 355–361.
- [14] Sosa Domínguez, A., Pérez Bueno, J.J., Zamudio Torres, I., Méndez López, M.L. (2017). Characterization and corrosion resistance of electroless black Ni-P coatings of double black layer on carbon steel. *Surface and Coatings Technology*, 326, 192-199.
- [15] Sosa Domínguez, A., Pérez Bueno, J.J., Zamudio Torres, I., Méndez López, M.L. (2017). Corrosion study of electroless deposited Nickel-Phosphorus solar absorber coatings on carbon Steel. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 12, 2987-3000.