

GENERACIÓN DE UN BARNIZ PROTECTOR DE MADERA A PARTIR DE RESIDUOS DE POLIESTIRENO (ESTEREOFÓN)

Ariel Alfaro Vargas*

Unidad de Regencia Química, Escuela de Química. Universidad de Costa Rica.

Recibido abril 2018 – Aceptado mayo 2019

Abstract

Several experiments were carried out to determine the ability of a varnish made from expanded polystyrene (Styrofoam) waste, without any modification, to avoid degradation of wood shelves used for the storage of chemicals. To determine the best solvent for the Styrofoam, factors such as price, water hazard (WGK), toxicity (LD50) and tropospheric ozone production factor were chosen. Ethyl acetate was found to be the one which met the best conditions. In addition, the saturation percentage of the solvent was found to be 62 % m/v. To verify if the varnish was resistant to the attack of chemicals, tests were carried out with the most common acids and bases used in laboratories. In the experiments the substances were applied directly on the wood with the varnish and a visual inspection was made through the time, until the penetration of the corrosive products in the wood occurs. Finally, the addition of clay and diatomite was tested to see if the resistance of the varnish to chemicals increased.

Resumen

Se llevaron a cabo varios experimentos para determinar la capacidad de un barniz hecho con base en residuos de poliestireno expandido (estereofón), sin ninguna modificación, para evitar la degradación de los estantes de madera utilizados para el almacenamiento de productos químicos. Para determinar el mejor disolvente del estereofón, se eligieron factores como el precio, el peligro para el agua (WGK), toxicidad (DL_{50}) y factor de producción de ozono troposférico. Tomando en cuenta estos factores se encontró que el acetato de etilo era el que reunía las mejores condiciones. Además, se encontró que el porcentaje de saturación del disolvente fue de 62 % m/v. Para verificar si el barniz resistía al ataque de productos químicos se realizaron ensayos con los ácidos y las bases más comunes que se utilizan en los laboratorios. En los experimentos se aplicaron las sustancias directamente sobre la madera con el barniz y se realizó una inspección visual a través del tiempo, hasta que ocurriera la penetración de los productos corrosivos en la madera. Por último, se probó la adición de arcilla y diatomita para determinar si aumentaba la resistencia del barniz a los productos químicos.

Key words: Waste, expanded polystyrene, varnish, wood, resistance, corrosive products, solvents.

Palabras clave: Residuos, poliestireno expandido, barniz, madera, resistencia, productos corrosivos, disolventes.

I. INTRODUCCIÓN

El manejo de los desechos en general persiste como uno de los grandes problemas por parte de la sociedad costarricense y las municipalidades. El 14 de mayo de 1991 el Poder Ejecutivo lo declara emergencia nacional para el área metropolitana, tanto porque representaba una amenaza al orden y a la salud pública, como para facilitar la búsqueda de soluciones. Aunque más de dos décadas después el problema no está resuelto, desde entonces se han desarrollado programas, proyectos y movimientos llamados a cambiar el panorama existente. Por lo tanto, toda iniciativa para reducir la cantidad de desechos es bienvenida a nivel país. Además, se debe cambiar la mentalidad de ver los desechos como tales y empezar a pensar en ellos como residuos de los cuales se puede sacar algún beneficio.

Uno de los productos que genera mayor problema a nivel nacional es el estereofón (poliestireno expandido, PEE), polímero que se caracteriza por ser muy ligero, resistente y con una densidad entre 10 kg/m^3 y 50 kg/m^3 . Aproximadamente un 98 % del volumen del material es aire (Castro, 2006), lo que le confiere un gran volumen y poco peso, y en los rellenos se generan graves

* Autor para correspondencia: ariel.alfaro@ucr.ac.cr

problemas de espacio. Otra propiedad importante que tiene es que se puede trabajar de manera continua a temperaturas inferiores de 80 °C sin que sufra transformaciones. El único factor atmosférico que llega a dañar este material es la radiación ultravioleta, en exposiciones prolongadas. El estereofón no constituye un substrato nutritivo para los microorganismos y tampoco se ve atacado por las bacterias del suelo (Inagaki, 1999), por lo tanto, es imputrescible, no enmohece y prácticamente no se descompone. Todas estas características hacen que el estereofón dure más de 500 años en degradarse e incluso 5000 años, dependiendo del grosor del producto acabado (Alonso, 2001).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se dividió en dos partes principales: la preparación del barniz y su aplicación en la madera con diatomita y con arcilla como aditivos.

Elección del disolvente

Se realizó una prueba de solubilidad de los residuos de estereofón en los disolventes más comunes, para esto se tomó 1 g del producto y se intentó disolver en 10 ml de los disolventes elegidos (Cuadro I). Además de la solubilidad, para escoger el disolvente ideal, se tomó en cuenta velocidad de evaporación, toxicidad, precio del disolvente, peligro para el agua (WGK, por sus siglas en alemán), índice de evaporación y capacidad para formar ozono en relación con el etileno (POCP, por sus siglas en inglés). Aparte de la elección del disolvente se verificó la cantidad de agua adsorbida por el estereofón, para esto se puso el estereofón en una estufa de vacío a 60 °C por una noche, posteriormente se sumergió completamente en agua por 28 días y se calculó el porcentaje de adsorción midiendo su cambio de masa (norma de ensayo UNE-EN 12087).

Generación del barniz

Lo primero que se realizó fue tomar los residuos de estereofón e ir disolviendo el material en el disolvente que dio mejores resultados, según el criterio anterior. Esta operación se continuó hasta formar una mezcla de apariencia viscosa, para finalmente aplicarlo en una superficie de madera tipo plywood. A continuación, se colocaron varias gotas de ácido sulfúrico y ácido nítrico y se observó los efectos de los ácidos sobre la madera a lo largo del tiempo. Los ácidos se pusieron sobre una aplicación del barniz.

Aplicación del barniz

Posteriormente se realizaron varias mezclas con diferentes proporciones de los residuos de estereofón en el disolvente, para ver cuál se aplicaba mejor a la superficie de madera tipo plywood, se comparó aplicación, cubrimiento, secado, entre otros.

Pruebas de resistencia a productos corrosivos.

Una vez que se obtuvo la mejor mezcla, se aplicó en madera y comprobó la resistencia al ataque de los productos corrosivos, se realizaron pruebas con los ácidos y bases más usados en el laboratorio (ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, ácido fosfórico, ácido nítrico, amoníaco, hidróxido de sodio e hidróxido de potasio). Los ácidos se vertieron sobre una y dos aplicaciones del barniz.

Mezcla con otros aditivos

En esta parte experimental se combinó la mejor mezcla de barniz encontrada con diferentes proporciones de arcilla y diatomita, las mezclas se hicieron desde 1:1 hasta 1:5 (m/m). Posteriormente se aplicaron en madera y se les realizó la prueba de resistencia con los productos corrosivos.

Aplicación en otros materiales y pruebas de calidad

Pruebas de cubrimiento y penetración. Los tipos de madera con los que se trabajó fueron madera tipo plywood, tipo alistonado de melina y madera de roble Para el cubrimiento se tomaron 3ml del barniz y se aplicó sobre la madera, y se midió el área de la aplicación (cm^2). La prueba se realizó por triplicado. La penetración del barniz se determinó midiendo el ancho de una franja coloreada desde el exterior hacia el interior de la muestra (desplazamiento en mm). El barniz se coloreó con Sudán IV y el desplazamiento se midió con vernier.

Resistencia a disolventes. Se impregnó un algodón con metil-etil-cetona y se frotó el barniz coloreado con Sudán IV. La prueba se repitió varias veces, esperando 5 segundos entre cada frote hasta que se perdió parte de la coloración y se pudo observar la madera.

Prueba de adherencia y contacto. La adherencia del barniz se realizó haciendo cortes en ángulo recto sobre el recubrimiento, la profundidad del corte se hizo hasta que se penetró la madera. Sobre la superficie seca de la aplicación se hizo una cuadrícula realizando incisiones paralelas y perpendiculares en el revestimiento con un cúter. Se formó así un enrejado de 25 cuadros, 6 cortes horizontales y 6 cortes verticales, con una distancia entre cortes de 2 mm. Posteriormente, se recubrió la cuadrícula con una cinta autoadhesiva y después se desprendió con un movimiento rápido, para verificar cuanto barniz se desprende. Para las pruebas de contacto se realizaron una y dos aplicaciones del barniz sobre la madera y se colocó un dedo sobre las aplicaciones cada cierto tiempo, la prueba se realizó a temperatura ambiente, 22 °C.

Aplicación a diferentes materiales. El barniz se aplicó en otros materiales aparte de la madera: papel, material de construcción prensado y cartón.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Elección del disolvente

Lo primero que se hizo antes de verificar la solubilidad de los residuos de estereofón en diferentes disolventes fue verificar la adsorción de agua en este material. Los niveles de adsorción que se obtuvieron fueron bajos, con valores entre el 2 % y el 3 % en volumen, comparados con resultados encontrados por ejemplo en Noruega donde se extrajeron bloques de este material, que han estado en obras durante más de 20 años, y donde se encontró contenidos de agua de 10 % para bloques que estaban permanentemente sumergidos (Frydenlund T. E, Aabøe R., 2011).

Posteriormente los residuos de estereofón se intentaron disolver en los disolventes que más se usan en el laboratorio. Además de la disolución, se analizaron otros factores tales como toxicidad, precio del disolvente, velocidad de evaporación y factor de producción de ozono troposférico. Los resultados se presentan en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Datos de los disolventes utilizados para disolver el estereofón.

Disolvente	Disolución	DL ₅₀ oral rata	WGK	Índice evaporació n	Precio/l 2016*
Acetona	hace una pasta	5800	1	E: 1,8	2700
Etanol	no	6200	1	E: 8,3	4320
Isopropanol	no	5045	1	E: 11	2563
Hexano	no	25000	2	E: 1,4	3150
Diclorometano	si	1600	2	E: 1,8	1140
Acetato etilo	si	5620	1	E: 3	2527
Éter etílico	hace una pasta	1215	1	E: 1	5610
Benceno	si	930	3	E: 2,6	54000
Tolueno	si	636	2	E: 6,1	1525

*Reactivos calidad para análisis (Precios suministrados por la Proveeduría de la Escuela de Química, UCR).

Los datos que se usaron para elegir el disolvente fueron los más representativos para la manipulación segura, para el menor impacto ambiental y la mayor viabilidad económica. En la comparación de la velocidad de evaporación se utilizó el índice de evaporación, este dato lo que indica es qué tan lento se evapora un disolvente con respecto al éter etílico (índice 1). Por lo que entre más grande un índice más lentamente se evapora. El WGK o daño para el agua nos dice que tanto se extiende la contaminación en el agua, en caso de un eventual derrame o contaminación (0 significa sin peligro y 4 el máximo peligro). En cuanto a la toxicidad el primer dato que se verifica es la dosis letal 50: entre más pequeño el valor, más tóxica es la sustancia.

La liberación de compuestos orgánicos volátiles (COVs) es un factor muy importante que tomar en cuenta. Este se puede comparar sobre la base de su capacidad para formar ozono en relación con etileno, también denominado factor de producción de ozono troposférico (POCP, Photochemical Ozone Creation Potential por sus siglas en inglés). A menor factor menos contaminación produce la sustancia. Este dato se puede verificar en el cuadro 2.

Cuadro 2. Factor de producción de ozono troposférico de diferentes familias de compuestos orgánicos.

Familia orgánica	POCP
Alquenos	84
Aromáticos	76
Aldehídos	44
Alcanos	42
Cetonas	41
Ésteres	22
Alcoholes	20

Tomando en cuenta todos los factores anteriores el mejor disolvente que se encontró fue el acetato de etilo, ya que es un disolvente de baja toxicidad, es de los menos peligrosos y es el tercer disolvente más barato; tiene una velocidad media de evaporación, superando incluso al isopropanol. Además, como se puede observar los ésteres son la segunda familia de compuestos que generan menos POCP. Otro factor que se pudo comprobar, por diferencia de masa, es que el acetato de etilo en la mezcla con los residuos de estereofón tiene una tasa de evaporación de 0,0044 g por minuto (0,0049 ml/min).

Generación y aplicación del barniz

La primera parte de la investigación que se realizó para generar el barniz fue tomar residuos de estereofón e ir disolviendo el material en acetato de etilo, hasta formar una mezcla viscosa. Una de las ventajas del acetato de etilo es que disuelve completamente el estereofón, a diferencia por ejemplo que la acetona, que lo hace a medias. Esta característica se puede utilizar, si se quiere transportar el estereofón sin generar el barniz, ya que se disminuye sustancialmente el volumen de los residuos que se van a utilizar, una vez que se evapora el disolvente. Otro factor importante es la utilización de varios tipos de residuos de estereofón: los vasos, los de soporte estructural de cajas y los recipientes de comida. A estos últimos sólo se les quitaron los restos gruesos de comida, pero no las grasas y aceites que quedaron impregnados en los recipientes.

Una vez obtenido el barniz, se aplicó en madera y se colocaron varias gotas de ácido sulfúrico y ácido nítrico concentrados en cuatro puntos de una tabla, para evaluar su resistencia. La figura 1 muestra el efecto de estos ácidos a los 5 minutos de la aplicación: en la parte superior se puede apreciar el efecto de la corrosión en el barniz y en la parte inferior en la madera.

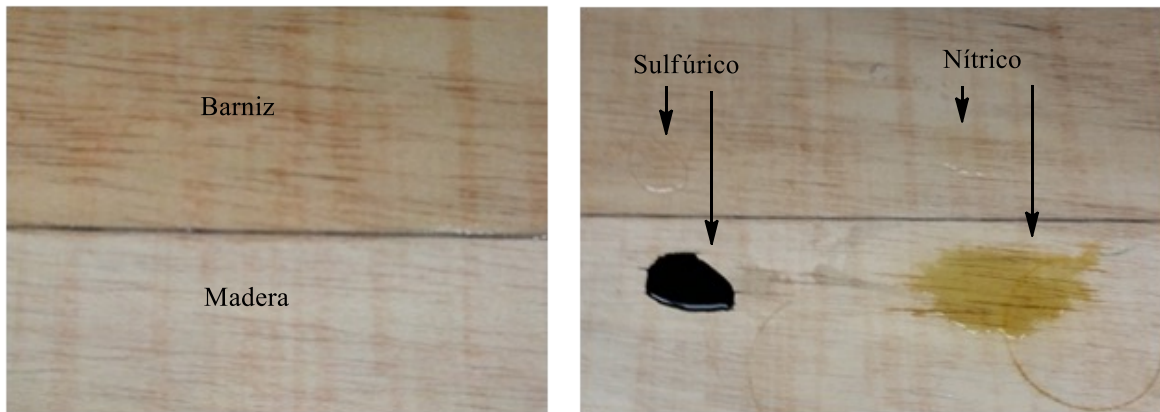


Figura 1. Imágenes de madera con barniz y sin él (izquierda) y aplicación de ácidos sobre estas secciones (derecha).

El siguiente paso que se realizó fue hacer varias mezclas de estereofón y acetato de etilo, variando la proporción del polímero, para ver cuál era la que se aplicaba mejor a la superficie de madera y la que resistía más el ataque de los ácidos. Se inició midiendo un volumen fijo de acetato de etilo (5 ml) y se fue agregando el estereofón hasta obtener una mezcla semejante en apariencia a un barniz comercial (mezcla 1). Sin embargo, con este método se tuvo el inconveniente de que se perdía mucho disolvente por evaporación. Por lo tanto, lo siguiente que se hizo fue tomar 5 ml de acetato de etilo e ir agregando porciones de 0,4 g de estereofón. Después de varias pruebas de ensayo y error se decidió trabajar con tres mezclas, una con el barniz diluido (mezcla 2), otra antes de saturar (mezcla 3) y la última con el acetato de etilo saturado (mezcla 4). Los porcentajes de trabajo se pueden observar en el cuadro 3.

Cuadro 3. Mezclas de estereofón con acetato de etilo utilizadas en las pruebas de aplicación y resistencia a la corrosión.

Mezcla	Volumen disolvente (ml)	Cantidad estereofón (g)	Porcentaje (% m/v)
1	5	Se agregó sin pesar	Sin definir
2	4,9	1,2	24,5
3	4,9	2,7	55,1
4	5	3,1	62,0

Posteriormente se realizó una sola aplicación de cada mezcla del barniz a una superficie de madera y se agregaron varias gotas de ácido sulfúrico (figura 2). Una sola aplicación del barniz no cubre las fisuras o defectos de la superficie de la madera, por lo tanto, el nivel de protección se puede mejorar con varias aplicaciones.

La mezcla 4 se encuentra tan saturada de estereofón que al aplicarla deja burbujas de aire al secarse, esto da una apariencia blanca al barniz. Sin embargo, después de 6 días de aplicación del ácido sulfúrico no se ve la madera afectada. La mezcla 3 cubre con una afectación mínima después de 6 días, y el daño se puede apreciar a una hora después de la aplicación con las mezclas 1 y 2. Sin embargo, el daño es inferior a si se usara madera sin protección. Las gotas del ácido no se extienden sobre la superficie del barniz en ninguno de los casos y quedan localizadas en el lugar de aplicación.



Figura 2. Aplicaciones de ácido sulfúrico a diferentes concentraciones de barniz: izquierda 1 hora, centro 24 horas y derecha 6 días después de la aplicación.

Mezclas del barniz con otros materiales

Para aumentar la resistencia del barniz a la corrosión y darle un acabado diferente a la madera, se mezcló la formulación 3 (estereofón al 55 %) con arcilla y diatomita. La proporción que se hizo fue 1:5 diatomita o arcilla:barniz (m/m). Los resultados se pueden observar en la figura 3.



Figura 3. Resistencia a la corrosión de las mezclas de barniz con diatomita (izquierda) y con arcilla (derecha), 16 días después de la aplicación.

La resistencia del barniz mejoró con la adición de arcilla y diatomita, tal y como se puede observar en la figura 3. Después de 16 días de haber sido aplicados a la madera, los ácidos más comunes en el laboratorio (ácido clorhídrico, parte inferior de la figura 3; sulfúrico, parte central y nítrico, parte superior) no penetraron en la madera.

Otros materiales y pruebas de calidad

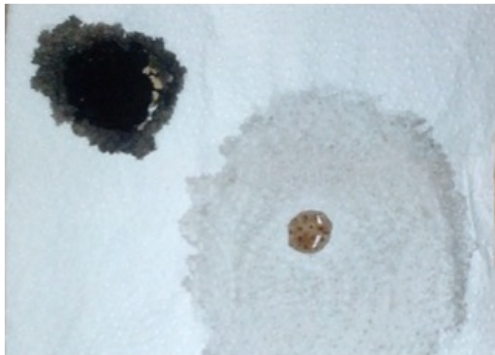
Además de las pruebas de protección para madera suave y dura, se realizaron otras para cartón, papel y fibrocemento. Las pruebas de calidad realizadas fueron de penetración y cubrimiento, adherencia y secado.

El barniz se aplicó al material prensado y una vez seco, se vertieron diferentes productos corrosivos. En la figura 4 se presentan los resultados 1 hora después de la aplicación: a la izquierda se presentan las aplicaciones de las sustancias sobre el barniz y a la derecha sobre el material sin protección. Tal y como se puede observar, no hay penetración o daño en la sección donde se realizó la aplicación.

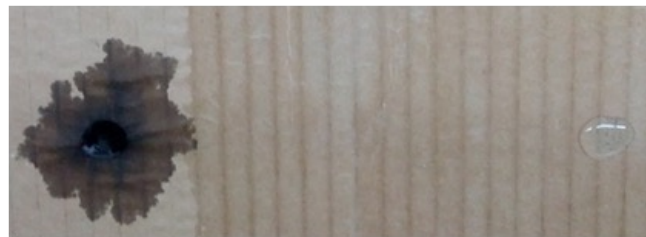


Figura 4. Aplicación de diferentes productos corrosivos en materiales prensados con y sin protección por barniz.

Posteriormente se aplicó el barniz a papel toalla y cajas de cartón para ver la resistencia a la corrosión, el ácido que se utilizó fue ácido sulfúrico. Como se puede ver en la figura 5, aún en materiales tan sensibles como estos, hubo protección. Normalmente estos materiales se destruyen a los 2 minutos de aplicación del ácido, sin embargo, con barniz hubo un daño menor.



papel toalla



cartón

Figura 5. Efectos de la aplicación ácido sulfúrico a materiales de papel y cartón conteniendo o no barniz.

Los principales resultados que se obtuvieron en las pruebas de calidad se pueden observar en el cuadro 4.

Cuadro 4. Datos y pruebas de calidad del barniz de residuos de estereofón.

Prueba	Resultado
Tasa evaporación	0,0044 g/min
Secado (prueba al tacto, 1 aplicación)	2 min
Secado (prueba al tacto, 2 aplicación)	3,5 min
Peso por galón	6,2 kg/galón
Superficie de cubrimiento	5,94 m ² /l
Penetración	0,030-0,050 mm
Adherencia	Clasificación ISO:1; ASTM: 4B

Los tiempos de secado para algunos barnices comerciales son: sintéticos de 6-8 horas, celulósicos de 20-30 minutos, poliuretano de 2-3 horas y poliéster 4 horas. Tal y como se puede observar en el cuadro IV el barniz con base en residuos de estereofón tiene un sacado muy rápido comparado con los comerciales (tasa de evaporación y la prueba de secado). Sin embargo, al ser la evaporación del disolvente tan rápida se ve afectada la penetración en la madera del barniz, ya que se requiere una evaporación lenta para favorecer mayor penetración. La penetración del nuevo barniz se encuentra entre los 30 y 50 μm , por lo que se clasifica como un barniz de protección superficial. Se clasifican como protección superficial aquellos productos cuya penetración es superior a 1 mm. Este inconveniente se puede superar aplicando varias manos del producto (entre 2 y 4). Aparte de colocar más capas de barniz, se puede incorporar diferentes metales para aumentar la protección de la madera. En el presente trabajo se hizo una prueba con cloruro de cobre II por ser una de las pocas sales de metales que se puede disolver en acetato de etilo (3,09 g/ml a 20 °C), obteniéndose un barniz con características similares al que no tiene el cobre (color, textura y adherencia).

Aprovechando la coloración roja que le imprime el Sudán IV al barniz en la madera, se impregnó un algodón con metiletilcetona (MEK, por sus siglas en inglés) y se frotó varias veces, el barniz no se elimina de la madera (se puede observar la madera) hasta la séptima vez que se pasa el algodón.

Finalmente se realizó la prueba de adherencia del producto, el resultado que se obtuvo clasifica al barniz como ISO: 1 o ASTM: 4B (ensayo de corte por enrejado ISO 2409:2013 y ASTM D 3359, método B), que corresponde a un desprendimiento del 5 % o menos. Para llegar a esta conclusión, se comparó el resultado que se obtuvo con las escalas de las normas. De acuerdo al desprendimiento que se obtuvo, el barniz producido se acerca más a ISO 1-ASTM 4B que a ISO 0-ASTM 5B, tal y como se puede observar en la figura 6.

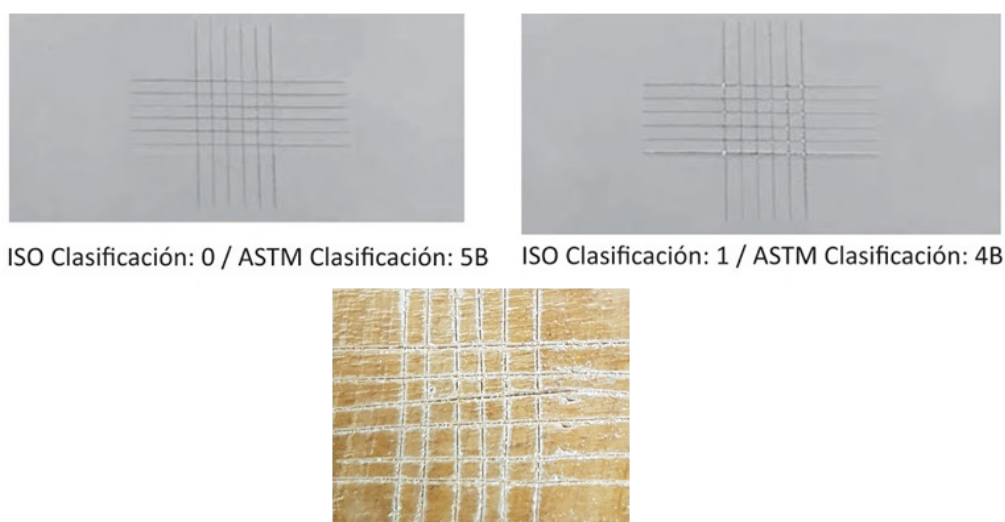


Figura 6. Resultado de la prueba de adherencia del nuevo barniz, parte superior escala comparativa y parte inferior resultado obtenido.

El barniz comparado con productos del mercado tales como barniz celulósico 5B, barniz de poliuretano 5B, barniz de poliéster 2B y barniz sintético 3B, se puede clasificar como bueno, dado que ISO: 0 o ASTM: 5B son los de excelente adherencia.

IV. REFERENCIAS

- Castro, L., Rodríguez, J y del Real, J. (2006) *Procesos industriales para materiales metálicos*. Madrid, España: Editorial Visión Libros.
- Inagaki, Y; Kuromiya, M.; Noguchi, T.; y Watanabe, H. (1999). Reclamation of waste polystyrene by sulfonation. *Langmuir*, 15(12), pp. 4171–4175.
- Frydenlund T.E. y Aabøe R. (2011) 40 years of experience with the use of EPS Geofoam blocks in road construction. 4^o Conference EPS 2011 Norway.
- Alonso, M.S., Lozano, A.R., Madrigal, S.O., Vilte, E.D., Apaza, A.M. y Saravia, J.I. (2002) Degradación de poliestireno y polipropileno con microorganismos de vermicompost. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 110(64), pp. 68-71
- Sánchez, J. y Alcántara, A. (2007). Capítulo IX: Compuestos orgánicos volátiles en el medio ambiente. *En Monografía XXII. Contaminación y Salud* (pp.375-401). Madrid, España: Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia.
- Smallwood, I. (1996). *Handbook of organic solvent properties*. New York, Estados Unidos: Editorial Arnold.
- Pohanish, R. (2012). *Sittig's Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens*. Waltham, Estados Unidos: Elsevier.
- Alonso, J.V. (2013) *Pinturas, barnices y afines: composición, formulación y caracterización*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.