

ESTUDIO DEL SENTIDO DE LAMINADO DE LA HOJALATA Y SU EFECTO EN LA ADHERENCIA DE RESINAS EPOXIFENÓLICAS

Scila Reátegui S., Midgely Valencia Q.

e-mail: sreateguis@yahoo.es

Resumen:

Se estudia la relación existente entre la adherencia de la resina epoxifenólica y el sentido de laminación de la hojalata por medio de ensayos gravimétricos, microscópicos y electromecánicos en una muestra aleatoria que evalúa la resistencia a la abrasión, el porcentaje de porosidad y rugosidad. La resina depositada en forma transversal presenta hasta un 43.7% de disminución de masa desprendida por abrasión, respecto a la depositada siguiendo el sentido de laminación de la hojalata. Se ha observado que existe una relación proporcional entre el porcentaje de adherencia y la porosidad producida por el efecto "cruzeta". Asimismo, el entramado que el polímero forma con el sustrato, en una aplicación transversal, produce una alta resistencia al flujo eléctrico que reduce el paso de corriente hasta en un 50.6%.

Palabras claves: Resina epoxifenólica, sentido de laminación, cruzeta, rugosidad, porosidad.

Abstract:

The existing relation between the adhesion of epoxifenolic resin and the sense of lamination of the tin plate by means of gravimetric, microscopic and electromechanical tests studies in a random sample that evaluates the resistance to the abrasion, the percentage of porosity and rugosity. The resin deposited in cross-sectional form presents up to 43,7% of diminution of mass given off by abrasion, with respect to the deposited one following the sense of lamination of the tin plate. It has been observed that exists a proportional relation between the percentage of adhesion and the porosity produced by the effect «crosspiece». Also, the framework that the polymeric form with the substrate, in a cross-sectional application, produces a high resistance to the electric flux that reduces the current passage up to 50.6%.

Key words: Epoxifenolic resin, sense of lamination, "crosspiece", rugosity, porosity.

I. INTRODUCCIÓN

El acero libre de estaño, hojalata TFS (Tinfree Steel), es una aleación de alta calidad que reemplaza a las láminas de estaño en el mercado de alimentos; debido a su alta resistencia a la corrosión, deformabilidad, compatibilidad con depósitos poliméricos; así como también por ser fácil de imprimir. La hojalata TFS es un acero de bajo carbón, que tiene un espesor nominal de 0.15-0.8 mm¹. El acabado superficial, conocido como "stone finish", se logra mediante un proceso llamado "laminación de temple"; el cual forma una superficie con sentido de laminación (modelo de arena direccional); donde el acabado es obtenido al cubrir la base de acero con cromo metálico y óxido de cromo; consiguiendo un efecto mate. La laminación de temple sirve, además, para evitar la aglomeración de granos cristalinos (estrías) y para completar las

propiedades mecánicas deseadas, de acuerdo al grado de temple especificado². Muchos de los envases para alimentos están hechos a base de hojalata y el mejoramiento de sus propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión, requieren de la aplicación de recubrimientos usando resinas; siendo las más adherentes las epoxifenólicas; que actúan como barrera de protección superficial ante medios agresivos³. Sin embargo, las resinas epoxifenólicas, al igual que otras resinas termo-rígidas, están fuertemente condicionadas por el desarrollo del proceso de "curado" de la resina; una aireación oxidativa que conduce a su cristalización.

En el presente trabajo proponemos la aplicación de un recubrimiento base sobre el sustrato metálico, considerando el sentido de laminación de la hojalata; con la finalidad de generar superficies con alto porcentaje de

porosidad, que mejoren la adherencia de la película polimérica sobre la lámina, lo aísle, lo proteja de focos oxidativos y que sirva como base para otros depósitos.

II. PARTE EXPERIMENTAL

Para conseguir sustratos que tengan la adherencia suficiente sobre depósitos sucesivos; es necesario que se generen "tramas" en la superficie de aplicación; manteniendo constante los parámetros y estableciendo una relación adecuada entre el sentido de laminado, la forma de aplicar el depósito y las condiciones de "curado" del polímero.

Un incremento de la imagen en 600 veces nos permitirá identificar espacios cubiertos o no recubiertos en cada uno de los ensayos.

Materiales y Reactivos:

Equipos:

- Microscopio **DIGIPRO TM 4.0 - LABOMED con Acoplamiento DIGIZOOM CZM4 y captador de Reflectancia 4122080.**
- Equipo de Abrasión y resistencia al Desgarre.
- Balanza analítica METTLER H78AR +- 0.1mg.
- Rugosímetro Mitutoyo GX-23 con ápice de diamante 0.16 mm
- WACO: Adaptado a equipo SENCON (sensible a variación de intensidad de corriente)

Materiales:

- Lámina TFS 0.23 mm de espesor, dureza nominal 66 HR30T y acabado Stone finish.
- Recubrimiento Epoxifenólico SIZE PR 1235-01 (16mg/ 4pulg², curado a 180 °C)
- Escobilla antiestática STATICMASTER IC200NRD, LLC.
- Llave Allen métrica de 3.00 mm.
- Durómetro TECLOCK GS 719G TIPO A.
- Copa Ford 4 SHEEN 406/4
- Lija al agua 240 (gránulos de silicatos)
- Termómetro digital TAYLOR MOSDEL9841.
- Cronómetro digital CITIZEN 035.

Reactivos:

- Acetato de etilo q.p.
- Alcohol isopropílico al 98%V.
- Cloruro de sodio
- Aerosol OT-B
- Agua bidestilada
- Solución electrolítica: H₂O (98 mL), NaCl (20 g) y Aerosol OT-B (0.2 mL)

Metodología

El procedimiento seguido para la obtención de datos experimentales fue:

- **Muestreo Aleatorio de los Sustratos:** Láminas rectangulares de 17.5 cm por 4.5 cm fueron recortadas a partir de cinco puntos diferentes (esquinas y parte central) de una lámina de 860 mm por 815 mm. Fueron 100 las tomadas aleatoriamente, de una "paca" que contiene 1 800 láminas de hojalata. El valor de la rugosidad de las superficies de la hojalata se mantuvo constante; sin embargo para el análisis se requiere que el ápice del diamante se ubique transversalmente al sentido de laminación.
- **Evaluación Microscópica del Sentido de Laminación:** Fue necesario precisar el sentido de laminación del sustrato para determinar la forma cómo debe realizarse el depósito de la resina epoxifenólica. Figura N° 1.
- **Evaluación Microscópica de la Porosidad generada por el Depósito:** Establecida la direccionalidad de los gránulos cristalinos del sustrato metálico, con un aumento de 600 veces su tamaño original, se determinó el porcentaje de porosidad mediante el "software" del microscopio óptico, tomando como referencia las irregularidades reflectivas. Figuras N° 1, 2 y 3
- **Aplicación del Recubrimiento Polimérico:** Considerando el sentido del laminado del sustrato, la película de depósito fue aplicada de dos maneras. Una en forma paralela al sentido del laminado y el otro depósito en forma transversal.

- **Evaluación Electromecánica de la Adherencia⁴:** Mediante esta prueba se consigue desprender una cierta masa de resina depositada, obteniéndose la masa final que por diferencia con la masa inicial nos indica, de manera indirecta, la adherencia y su resistencia a la abrasión. El desprendimiento se produce al aplicar una masa de 50 g, en contacto directo con una superficie abrasiva, para producir una presión constante de 50 psi durante 40 segundos. Tabla N° 1.
- **Determinación de la Dureza Nominal:** Conocida también como HR30T, se refiere a la resistencia al desgarre o arañado que ofrece el depósito cuando se aplica, por contacto, el equipo de medición de dureza Rockwell. Su sensibilidad es de escala decimal, no distingue el espesor de película y sólo localiza la medición en base a 5 puntos diferentes. Los valores obtenidos son mostrados en la tabla N° 1 y complementan los resultados de la adherencia por abrasión.
- **Prueba de WACO:** Se usa para la determinación electrodinámica de los focos oxidativos, donde 15 probetas constituían cada grupo; de una población de 450. En cada probeta se evaluó el paso de la corriente eléctrica; midiendo intensidad de corriente eléctrica en centiamperes (cA).

Resultados y Discusión de Resultados

La evaluación de la rugosidad de la superficie del sustrato, en función de la altura de valles y mesetas, reporta un valor promedio de 0.42 micras, producidos por los depósitos de cromo y óxidos de cromo que siguen la dirección de los empaquetamientos metálicos de la hojalata, figura N° 1. El primer recubrimiento⁷ y los sucesivos serán mejor aplicados si se generan mayor cantidad de imperfecciones ó "focos de adherencia".

En las figuras N° 2 y 3 se observan diferencias sustanciales. En la primera se observan espacios no recubiertos, debido a una distribución deficiente de la resina; mientras que cuando el depósito es aplicado en forma transversal la cantidad de espacios libres es menor. Es muy probable que la rugosidad del sustrato se adapte mejor a la disposición transversal ("cruceta") de la resina⁶.



Figura N° 1. Lámina Original (sustrato)



Figura N° 2. Aplicación del Depósito en Paralelo sobre la Lámina Original.

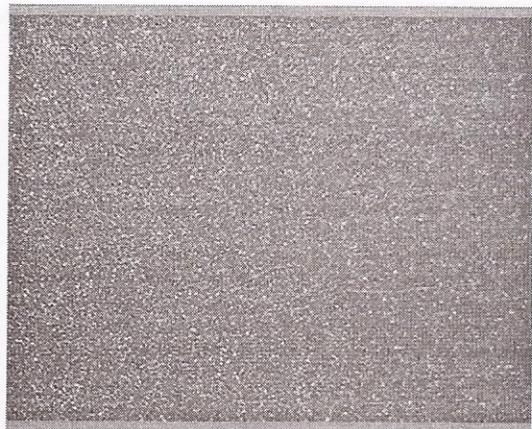


Figura N° 3. Aplicación Transversal del Depósito sobre la Lámina Original.

Los valores promedio (Tabla N° 1), de la masa desprendida durante los ensayos por abrasión, nos muestran que el recubrimiento transversal mejora la adherencia del depósito

epoxifenólico. Así mismo, se observa que el porcentaje de porosidad crece en relación al de la lámina original. Ambos resultados están sustentados mediante muestreo estadístico aleatorio⁷.

Los resultados de la tabla N° 1 muestran que ambos tipos de recubrimientos tienen una respuesta similar respecto a la prueba de dureza⁸. Debido a la cristalización de la resina, la superficie cubierta ofrecerá mayor resistencia adaptativa a la penetración del cursor del durómetro. Sin embargo, al deformarse la lámina de hojalata, el recubrimiento también se deforma y su resistencia a desestabilizar su tensión molecular disminuye.

En cuanto a la masa desprendida, su relación es directa con la porosidad, un factor fisicoquímico, que ayudaría a generar tramas por la aplicación del recubrimiento sobre la hojalata en función del sentido de laminación, por difusión de las resinas poliméricas que forman mallas moleculares con alta cantidad de vacancias intersticiales.

La distribución de las moléculas en la superficie del sustrato varía en función de la aplicación del recubrimiento. El de forma paralela no genera "redes químicamente funcionales" que permitan una fijación óptima, ya que a menor espacio intersticial menor será la capacidad de inclusión de los átomos de la resina. El incremento de los surcos a una dimensión equivalente a la rugosidad de la lámina le resta fijación y adherencia al recubrimiento polimérico. El recubrimiento transversal, por su parte, genera un mejor entrecruzamiento y por ende mayor interacción de los átomos de la resina con el sustrato. Así mismo, debería considerarse el efecto estérico que sustente las orientaciones efectivas, las cuales están aún en estudio.

Al referirnos a la porosidad también se utiliza el término "anclaje" y a mayor número de cavidades superficiales mayor será la probabilidad que los átomos responsables de la adherencia (oxígeno, nitrógeno y fósforo) del recubrimiento epoxifenólico se adapten, interaccionen y formen un empaquetamiento semi-sólido. De allí que al hacer el barrido lumínico angular, mediante el instrumento óptico, se establecen

sinuosidades en un área constante que obedece a la siguiente relación:

$$\% \text{Porosidad} = (\text{Área Porosa} / \text{Área Total}) \times 100$$

La especificación del instrumento contabiliza separaciones de 0.21 a 0.68 micras.

Mediante la prueba de Variación de Intensidad de Corriente ó identificación de focos oxidativos, llamada también prueba de WACO se evalúa, indirectamente, la resistencia y la distribución de las densidades electrónicas en la superficie polimérica por donde circulan libremente los electrones.

Durante el recubrimiento paralelo, los grupos funcionales orgánicos terminales se concentran siguiendo el sentido de laminación; debido a que el sustrato metálico interactúa con los pares de electrones libres y condiciona fuerzas de atracción hacia el interior, disminuyendo con ello la probabilidad⁹ de contar con electrones libres remanentes que provoquen, por interacciones electrostáticas y fuerzas tipo Van der Waals, la preadherencia y el "curado" final. La formación de un entramado polimérico con el sustrato, durante la aplicación transversal, genera una densidad electrónica remanente debido al efecto aislante del polímero; que al acomodarse "estéricamente"; produce una nube electrónica resonante, en conjunción con las fuerzas descompensadas superficiales. Todo esto da lugar a una alta resistencia al flujo eléctrico, que disminuye el paso de corriente hasta en un 50.63% y constituye la base adecuada, eléctricamente activa, de adhesión para los recubrimientos sucesivos.

III. CONCLUSIONES

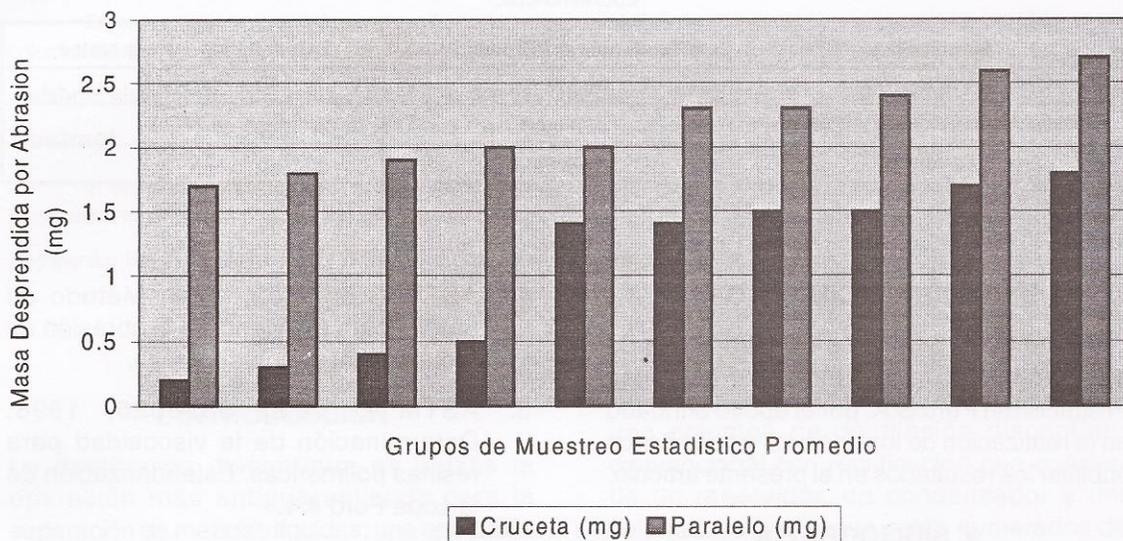
- La evaluación de la porosidad y; los ensayos de adherencia, resistencia a la abrasión y paso de corriente eléctrica, muestran el efecto del sentido de laminación de la hojalata respecto del recubrimiento.
- Un incremento del 2% en la porosidad de la lámina aumenta su resistencia a ser rayado en un 43.7%.
- La aplicación transversal de la resina mejora la adherencia alrededor del 50%; en relación al recubrimiento en paralelo.

- La poca homogeneidad del depósito da lugar a pequeña diferencia en los valores de la dureza; sin embargo esta prueba permite establecer la capacidad de deformación del recubrimiento.
- El recubrimiento transversal podría reducir hasta en 56.3% la masa de resina epoxifenólica, aplicada sin considerar el

sentido de laminación; reduciendo el costo de manufactura de los productos intermedios y finales que contengan como base dicha resina.

- La intensidad de corriente disminuye sustancialmente en las superficies con recubrimiento transversal.

Prueba de Abrasión para determinar el Efecto del Sentido de Laminación en la Adherencia de Recubrimiento Epoxifenólico



Ensayos de Porosidad en Hojalata con Recubrimiento Epoxifenólico (Prueba de Waco)

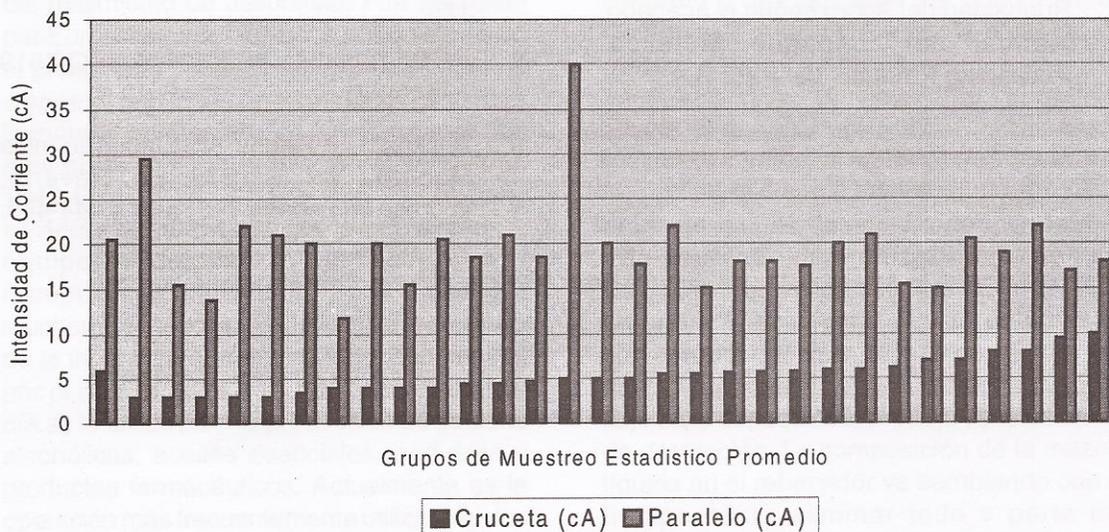


Tabla N° 1. Evaluación de las Propiedades Físicas de Muestras de Hojalata con Recubrimiento Epoxifenólico, en Paralelo y Transversal.

Magnitudes	Lámina Original	Recubrimiento en Paralelo al Sentido de Laminado	Recubrimiento Transversal al Sentido de Laminado
Dureza Nominal (HR30T)	63	65	65
Masa desprendida por Abrasión (mg)	----	9.85	5.55
Porosidad (%)	95.21	95.42	97.39
Intensidad de Corriente (cA)	>1000	19.49	5.32

Tabla N° 2. Variación de las Propiedades Fisicoquímicas debido a la Aplicación Transversal de los Recubrimientos Epoxifenólicos.

Magnitudes	Tendencia del Proceso	Resultados Porcentuales
Dureza Nominal	Aumenta	3.08%
Masa desprendida por Abrasión	Disminuye	43.70%
Porosidad	Aumenta	2.00%

IV. AGRADECIMIENTO

Los autores expresamos nuestro profundo agradecimiento a la Empresa Packaging Products del Perú S.A. por el apoyo brindado en la realización de los ensayos y permitimos publicar los resultados en el presente artículo.

V. BIBLIOGRAFÍA

1. TINFREE STEEL, Nippon Steel Corporation Japanese Industrial Standards Chromium Plated, JIS G 3315, 1987.
2. Tabla de Acero y Estándares de Rugosidad del Acero según el acabado, Manual del Empaque Metálico-Packaging Products del Perú S.A.
3. ASTM D 2909-03, 1999, Método de prueba de resistencia a climas oxidativos para recubrimientos con alto brillo.
4. ASTM D 6279-03, 1998, Método de prueba para resistencia a la abrasión de recubrimientos con alto brillo.
5. ASTM D 1200 S996026, 1998, Determinación de la viscosidad para resinas poliméricas. Estandarización de la copa Ford # 4.
6. ASTM D 5178-98-2002, 1998, Método estándar de prueba para resistencia de recubrimientos orgánicos.
7. Triola M., Estadística Elemental, 2004, Ed. Pearson Educación, ISBN: 968-444-341-2, Impreso en España, pp. 19-22 y 125.
8. ASTM D2240A, JIS K6253A, ISO 7619 A, 1998, Dureza.
9. Bockris J. y Reddy A., Electroquímica Moderna Vol. I, 1979, Ed. Reverté, Impreso en España, pp. 75-91 y 444-449.