

Estudio de tanato de zinc como pigmento inhibidor en “wash primer” aplicado sobre acero galvanizado

Santiago Flores Merino¹, Javier Chuman López¹, Antonella Hadzich Girola¹

¹Instituto de Corrosión y Protección y Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Email: sflores@pucc.edu.pe

Resumen

Recubrimientos *wash primer* formulados con pigmentos tanato de zinc, fueron aplicados sobre acero galvanizado nuevo y lijado. El comportamiento de los pigmentos tanato de zinc en las formulaciones de *wash primer* fue comparado con pigmentos convencionales inhibidores de la corrosión, cromato de zinc y fosfato de zinc. Los sistemas “Dúplex”, galvanizado + *wash primer* o *wash primer*/acabado alquídico, fueron evaluados en ensayos de corrosión acelerada en cámaras de niebla salina y dióxido de azufre. El tanato de zinc presentó protección contra la oxidación equivalente al cromato de zinc en los ensayos de corrosión acelerada para el sistema galvanizado + *wash primer* / acabado alquídico. La duración de la protección después de 40 ciclos para el recubrimiento galvanizado (desnudo) fue triplicada hasta 120 ciclos (2880 h) para el sistema galvanizado + pintura, cuando son expuestos al medio ácido, en cámara de dióxido de azufre.

Palabras clave: acero galvanizado, sistema Dúplex, *Wash Primer*, tanatos metálicos.

Abstract

Wash primer coatings formulated with zinc tannate pigments were applied on new and abraded galvanized steel. The performance of the zinc tannate pigments in the wash primer formulations was compared with conventional corrosion inhibitor pigments, zinc chromate and zinc phosphate. The "Duplex" systems, galvanized + wash primer or wash primer/alkyd finish, were evaluated in accelerated corrosion tests in salt fog and sulfur dioxide chambers. Zinc tannate showed equivalent rust protection to zinc chromate in the accelerated corrosion tests for galvanized + wash primer/alkyd finish system. The duration of protection after 40 cycles for the galvanized coating (bare) was increased up to 120 cycles (2880 h) for the galvanized + paint system, when exposed to the acid medium, in sulfur dioxide chamber.

Keywords: acero galvanizado, sistema Dúplex, *Wash Primer*, tanatos metálicos

1. Introducción

Los pigmentos anticorrosivos, activos solubles, son aquellos que actúan cuando el agua, que permea la pintura, alcanza la interfase metal pintura; el pigmento se disuelven y ejerce su mecanismo de inhibición (p.e., pasivación de la superficie). De este grupo de pigmentos, los más extensamente usados son el minio de plomo y el cromato de zinc. Sin embargo, estos pigmentos son tóxicos y producen severa contaminación ambiental [1].

El *wash primer*, a base de resina polivinil butitral, es un recubrimiento de muy bajo espesor (7-12 μm) usado como imprimante adhesivo sobre superficies de zinc. Este imprimante contiene pequeños porcentajes de ácido fosfórico y es pigmentado con tetroxicromato de zinc. Al ser aplicado, es de esperar que el *wash primer* decape ligeramente la superficie de zinc y pueda proveer de una buena adherencia [2].

La toxicidad de los pigmentos tipo cromato de zinc, ha generado una serie de estudios para buscar pigmentos alternativos, con equivalentes propiedades

anticorrosivas [3]. Para el caso de los recubrimientos tipo *wash primer* numerosas investigaciones han sido realizadas para estudiar materiales alternativos, tales como recubrimientos conteniendo polianilina [3], tanato de lantano (a base de quebracho) [4], y tanato de zinc (a base de taninos hidrolizables) [5], siendo este último estudiado sobre superficies de acero.

La presente investigación propone el estudio de tanatos de zinc, obtenidos a partir de taninos hidrolizables, en formulaciones de *wash primer* aplicadas sobre acero galvanizado como pretratamiento alternativo a aquellos que contienen cromato de zinc. Una formulación de *wash primer* conteniendo fosfato de zinc comercial ha sido incluida para fines comparativos. Se espera que los pigmentos tanatos de zinc presenten un desempeño equivalente al cromato de zinc en ensayos de corrosión acelerada, cuando son aplicados sobre acero galvanizado nuevo y lijado.

2. Metodología

2.1. Preparación de probetas de acero galvanizado

Probetas de acero galvanizado comercial de dimensiones, 10 x 15 x 0.08 cm, fueron obtenidas de una plancha galvanizada en caliente por método continuo. El promedio en espesor del recubrimiento galvanizado fue de $7.5 \pm 0.56 \mu\text{m}$. Todas las probetas fueron limpiadas con acetona, con la finalidad de remover suciedad y residuos de aceite. Un grupo de las probetas fueron lijadas con papel abrasivo grano No. 120.

2.2. Composición del recubrimiento “Wash Primer”

Recubrimientos de *wash primer* (WP) fueron formulados para ser aplicados sobre probetas de acero galvanizado nuevo y lijado. Los recubrimientos formulados contienen 02 pigmentos anticorrosivos comerciales, cromato de zinc, $\text{K}_2\text{CrO}_4 \cdot 3\text{ZnCrO}_4 \cdot \text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, (Cr) y fosfato de zinc (Fo) modificado (Nubirox 106); además, fueron formulados con 02 pigmentos tanato de zinc preparados de acuerdo al método de síntesis reportado por A. Hadzich *et. al.* [6], con polvo de tara como fuente de taninos y óxido de zinc como fuente del catión metálico. Se trabajó con 02 pigmentos tanato de zinc (T3 y T4), donde el pigmento T4 tiene mayor porcentaje de zinc con respecto al T3. Para todas las formulaciones fueron utilizados porcentajes equivalentes de pigmento en volumen.

La formulación del **componente A** del recubrimiento *wash primer* es presentada en la Tabla 1.

El **componente B** (agente de curado) estuvo formado por isopropanol (62,5 %), agua (16,5 %) y ácido fosfórico (21,0 %), como porcentaje en peso.

Tabla 1. Composición del componente A del recubrimiento *wash primer* expresada como porcentaje en peso (% p/p)

Componentes	% p/p
Isopropanol	57.5
Etanol	20.4
Agua	2.4
Tanato de Zinc (ZT3) ⁽¹⁾	4.5
Dióxido de Titanio	3.3
Talco	1.0
Óxido de hierro	1.6
Resina polivinil butiral	8.6
Agente dispersante	0.3
Otros aditivos	0.3

⁽¹⁾ pigmento anticorrosivo

2.3 Aplicación

El recubrimiento fue aplicado sobre probetas de acero galvanizado nuevo, sin lijar (SI) y lijado (Li) con una pistola convencional TRUPER/AVBP. El esquema de la aplicación del *wash primer* y sistemas completos es presentado en la Tabla 2. En el caso del sistema completo, una capa de acabado alquídico (AQ) comercial fue aplicada sobre el recubrimiento curado de *wash primer*. Una vez aplicado, el *wash primer* y el sistema completo fueron dejados secar y curar por 7 días a condiciones ambientales del laboratorio.

El espesor de película seca del *wash primer* y sistema completo fue medido después de 7 días de curado con equipo Deltascope MP30, marca Fischer. Asimismo, la adhesión en seco de las probetas galvanizadas pintadas fue determinada de acuerdo al procedimiento ASTM D3359, método B (*cross-cut tape test*).

Tabla 2. Esquema de pintado

Recubrimiento		Superficie galvanizada	
Descripción	Pigmento	Nuevo	Lijado
Wash primer (WP)	Cr	X	X
	Fo	X	X
	T3	X	X
	T4	X	X
Wash primer (WP) / acabado Alquídico (AQ)	Cr	X	X
	Fo	X	X
	T3	X	X
	T4	X	X

2.4 Ensayos de corrosión acelerada

Ensayos de corrosión acelerada fueron llevados a cabo para evaluar, comparativamente, la capacidad de los pigmentos para inhibir la corrosión cuando forman parte del recubrimiento *wash primer*. El ensayo de

niebla salina de acuerdo a ASTM B 117 fue llevado a cabo en cámara modelo Q-Fog CCT 600, marca QLab. Por otro lado, el ensayo de dióxido de azufre, según ASTM G 87, fue realizado en cámara modelo CON 300-FL AIR CWC KES, marca VLM GMBH. Antes del ensayo fue realizada una incisión horizontal hasta el sustrato metálico en la parte inferior de cada probeta pintada.

Para tener una base comparativa, probetas de acero galvanizado fueron envejecidas en cámara de niebla salina, durante 60 días, hasta obtener entre el 5 y 10 % del área herrumbrosa. En el caso del envejecimiento en cámara de dióxido de azufre, el 5-10 % del área herrumbrosa se alcanzó después de 40 ciclos (40 días) de ensayo.

Durante los ensayos de corrosión acelerada el grado de ampollamiento (ASTM D 714) y el grado de oxidación (ASTM D 610) fueron evaluados en el cuerpo de la probeta pintada. Al finalizar del ensayo fue evaluado el comportamiento en la zona de incisión según el procedimiento descrito en la norma ASTM D 1654.

El grado de ampollamiento fue reportado según el tamaño y frecuencia de ampollas conforme a la norma ASTM D714. El tamaño de las ampollas es clasificado en valores de 10, 8, 6, 4 y 2, en donde la clasificación 10 indica ausencia de ampollas, el valor de 8 representa pequeñas ampollas fácilmente observables, y así progresivamente hasta la clasificación 2 (ampollas grandes). La frecuencia de ampollas es clasificada como: Denso (D), medio denso (MD), medio (M) y poco (F).

3. Resultados y Discusión

3.1. Espesor de película seca y adherencia.

Las mediciones de espesor de película seca del *wash primer* y sistema *wash primer/acabado* alquídico son presentadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Espesor de película seca del recubrimiento y sistema aplicados.

Pintura	Espesor de pintura (μm)			
	Ensayo de niebla salina		Ensayo de dióxido de azufre	
	Capa 1	Capa 2	Capa 1	Capa 1
WP	15,8 \pm 1,2	--	16,7 \pm 2,5	--
WP/AQ	15,8 \pm 1,2	32,7 \pm 2,9	16,7 \pm 2,5	32,5 \pm 5,7

Los valores de espesor de película seca del recubrimiento *wash primer* se encuentran dentro del rango de los valores referenciados [2, 3], entre 10 y 15 μm .

En la Tabla 4 es presentado el resultado del ensayo de adherencia ASTM D3359, método B.

Tabla 4. Resultado del ensayo de adherencia ASTM D3359, método B.

Pintura	Acero Galvanizado nuevo	
	Sin lijar (SI)	Lijado (Li)
WP-Cr	2B	3B
WP-Fo	0B	0B
WP-T3	0B	1B
WP-T4	1B	1B
WP-Cr/AQ	3B	4B
WP-Fo/AQ	F	1B
WP-T3/AQ	F	F
WP-T4/AQ	F	1B

F: deslaminación del recubrimiento

La norma ASTM D3359 establece un rango de 0B al 5B de adherencia, en donde el grado 5B indica 0% de área removida y el grado 0B representa una área removida mayor a 65% después de retirar la cinta sobre el corte en rejilla de la película de pintura.

En la Tabla 4 se observa una relativa baja adhesión para el pretratamiento *wash primer* (WP) sobre el acero galvanizado nuevo, sin lijar (SI). El WP pigmentado con cromato de Zinc (WP-Cr) alcanzó una adherencia relativamente mejor (2B), seguido del T4 (WP-T4). No obstante, la superficie lijada incrementa los puntos de anclaje de la pintura y, con ello, mejora ligeramente el grado de adherencia para los WP pigmentados con Cr y T3. El sistema WP-Cr/AQ mostró un aceptable grado de adherencia en su grupo (3B y 4B, para superficie sin lijar y lijada, respectivamente). Sin embargo, los demás recubrimientos formulados con los pigmentos Fo, T3 y T4 fallaron durante la aplicación de la prueba correspondiente, deslaminándose la capa de pintura, indicando muy pobre adherencia.

3.2. Ensayos de corrosión acelerada

3.2.1. Ensayo de niebla salina neutra

Los sistemas Dúplex (galvanizado + pintura) que contenían el pretratamiento *wash primers* (WP) fueron ensayados en cámara de niebla salina durante 2184 horas. La Figura 1 muestra la variación del **grado de oxidación** (ASTM D610) con respecto al tiempo de exposición, de los WP sobre sustratos de acero galvanizado nuevo, sin lijar (SI) y lijado (Li).

Los recubrimientos *wash primer* pigmentados con fosfato de zinc y tanatos de zinc (T3) mostraron una tendencia similar en la evolución del grado de oxidación, mientras que el pigmentado con T4 presentó el peor comportamiento. Por otro lado, el *wash primer* pigmentado con cromato de zinc (Cr) mostró el mejor comportamiento frente a la corrosión para ambas superficies (acero galvanizado nuevo, sin lijar y lijado).

Cabe señalar que el comportamiento de los recubrimientos *wash primer* pigmentados con T4, T3 y Fo tienden a mejorar respecto al cromato cuando la superficie del acero galvanizado esta lijada (Figura 1).

En cuanto a los sistemas de pintura WP/AQ (Figura 2), se pudo observar que el grado de oxidación de los recubrimientos pigmentados con tanato de zinc (T3 y

T4) presentaron un comportamiento intermedio, menor que cromato de zinc pero mejor que el fosfato de zinc. Además, se alcanzó un mejor desempeño para los WP/AQ con tanato de zinc sobre la superficie lijada, alcanzándose un comportamiento similar para ambos pigmentos, pigmento T3 y el cromato de zinc.

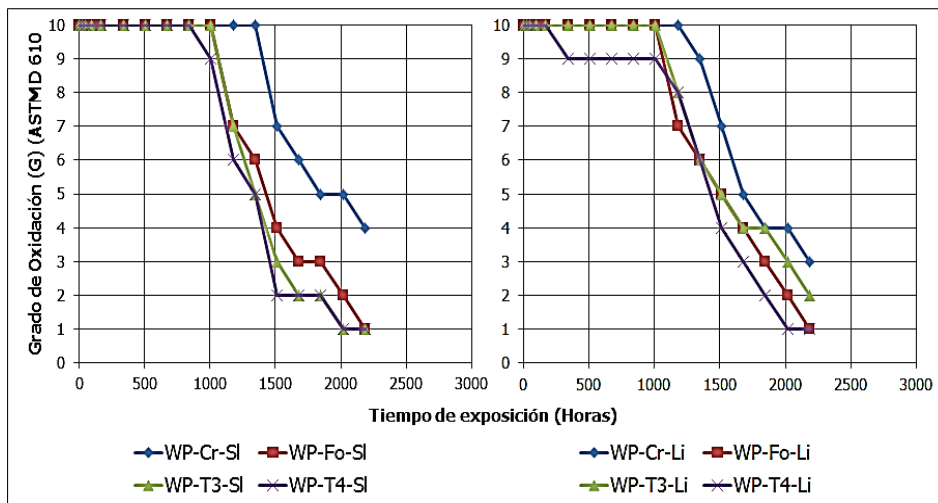


Figura 1. Variación del grado de oxidación (ASTM D610) de probetas galvanizadas protegidas con recubrimientos *wash primer*, en función del tiempo de ensayo en cámara de niebla salina (ASTM B117).

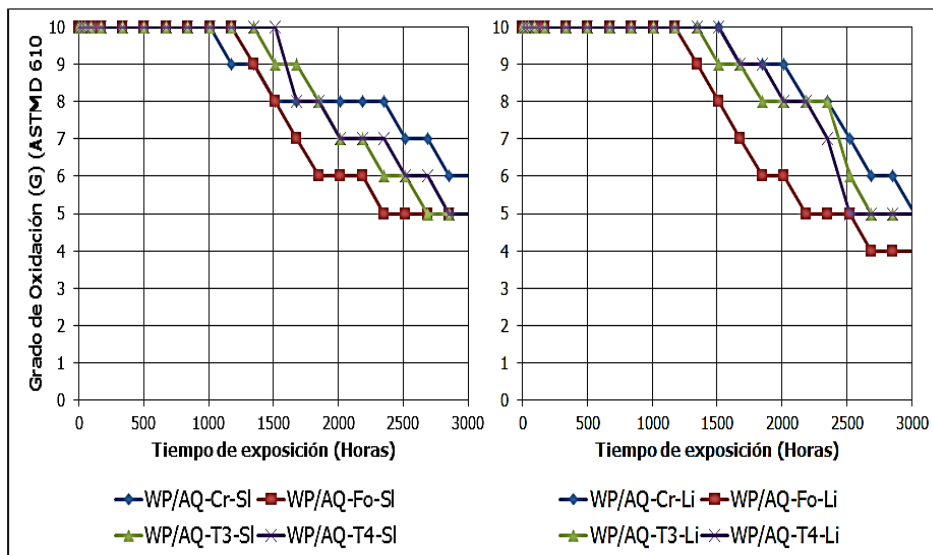


Figura 2. Variación del grado de oxidación (ASTM D610) de probetas galvanizadas protegidas con sistema *wash primer/AQ*, en función del tiempo de ensayo en cámara de niebla salina (ASTM B117).

El **grado de ampollamiento** de los recubrimientos aplicados sobre acero galvanizado, ensayados en cámara de niebla salina, son presentados en la Tabla 5. Con relación a los recubrimientos WP, aquellos pigmentados con Cr y Fo han demostrado tener el mejor comportamiento, seguidos muy de cerca de los pigmentados con tanatos de Zinc, los cuáles alcanzaron el menor tamaño de ampolla (tamaño

“8”) hacia el final del ensayo. Para los sistemas WP/AQ el tamaño y la frecuencia de ampollamiento ha sido superior a los *wash primer*, sin recubrir. Es probable que la tendencia del acabado alquídico a absorber humedad en el ensayo de niebla salina (humedad constante y > 100 % HR) haya promovido la formación de ampollas ocultando el efecto de los pigmentos inhibidores de la corrosión. Sin embargo,

el cromato de Zinc sigue teniendo el mejor comportamiento relativo.

Tabla 5. Grado de ampollamiento (ASTM D714) de probetas galvanizadas pintadas en el ensayo de niebla salina (ASTM B117).

Pintura - Sustrato	24 h	168h	504 h	1008 h	1440 h	1512 h	2184 h	2520 h
WP-Cr - SI	10	10	10	10	10	10	10	-
WP-Fo - SI	10	10	10	10	10	10	10	-
WP-T3 - SI	8F	8F	8F	8F	8F	8F	8F	-
WP-T4 - SI	10	8F	8F	8F	8F	8F	8F	-
WP-Cr - Li	10	10	10	10	8F	8F	8F	-
WP-Fo - Li	10	10	10	10	10	10	10	-
WP-T3 - Li	8F	8F	8M	8M	8M	8M	8M	-
WP-T4 - Li	10	10	10	8F	8F	8F	8F	-
Pintura - Sustrato	24 h	168 h	504 h	1008 h	1512 h	2016 h	2520 h	3000 h
WP-Cr/AQ - SI	10	10	10	6M	4F	2M	2M	2MD
WP-Fo/AQ - SI	8F	8F	8M	6MD	2MD	2D	>2D	>2D
WP-T3/AQ - SI	8F	8M	6M	6MD	2M	2MD	2MD	>2D
WP-T4/AQ - SI	8F	8M	6M	6M	2M	2MD	2MD	>2D
WP-Cr/AQ - Li	10	10	8F	6F	4M	2M	2M	2MD
WP-Fo/AQ - Li	8F	8M	8M	6MD	2MD	>2D	>2D	>2D
WP-T3/AQ - Li	10	8F	6F	6M	2M	2MD	>2D	>2D
WP-T4/AQ - Li	8F	8M	6M	6M	2M	2MD	>2D	>2D

3.2.2 Ensayo de dióxido de azufre

Entre las muestras ensayadas en la cámara de SO₂, las *wash primer*, sin recubrir, presentaron fallo por oxidación hasta 56 ciclos o 1344 horas de exposición en la cámara de corrosión acelerada (Figura 3). Las primeras fallas notorias fueron observadas en las muestras WP -T4 -SI y WP -T4 -

Li después de 28 ciclos de ensayo (672 h). Tales recubrimientos (WP-T4) aumentaron progresivamente su grado de corrosión con el transcurso del ensayo, siendo las de peor desempeño. La Figura 4 muestra la ruptura y deslaminación prematura del recubrimiento, relacionada con la pobre adherencia presentada, en general, por los recubrimientos WP-Fo, WP-T3 y WP-T4 (Tabla 4).

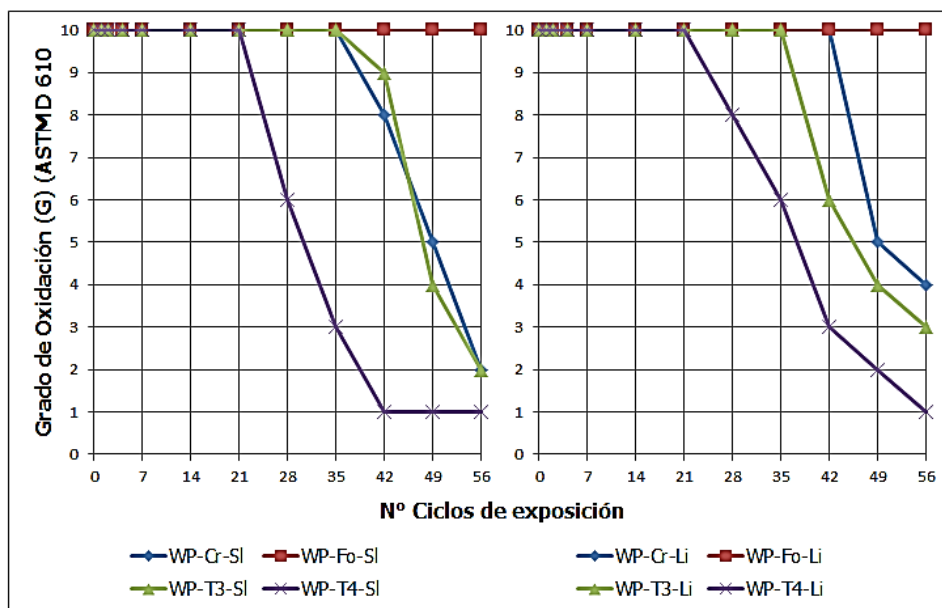


Figura 3. Variación del grado de oxidación (ASTM D610) de probetas galvanizadas protegidas con recubrimientos *wash primer*, en función del tiempo de ensayo en cámara de dióxido de azufre (ASTM G87).

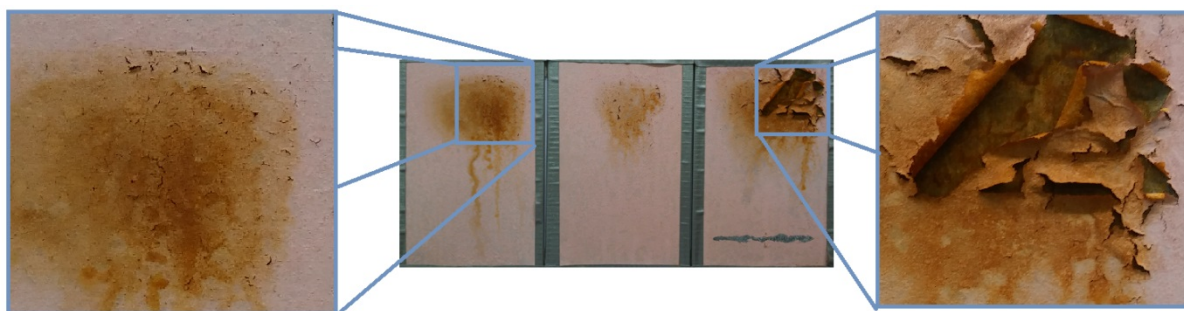


Figura 4. Fallo prematuro para el sistema: WP-T4-SI en cámara de SO_2 (35 ciclos de exposición).

Por otro lado, el recubrimiento *wash primer* pigmentado con fosfato de zinc (WP-Fo) brindó la mejor protección inhibitoria en este medio. Los WP pigmentados con cromato de zinc y tanato de zinc, T3, presentaron similar comportamiento frente a la corrosión durante el periodo de exposición. Es decir, el pigmento tanato de zinc T3, alcanzó similar protección inhibitoria que el pigmento convencional cromato de zinc, a pesar de no alcanzar un buen grado de adherencia. Por último, la superficie de acero galvanizado lijada permitió una mejora en la resistencia a la corrosión en función del tiempo de ensayo de los 03 recubrimientos *wash primer*.

Para el caso de los sistemas de pintura WP/AQ, se observó que la aplicación de una capa superior evita la formación de óxidos, tanto para el recubrimiento sobre acero galvanizado sin lijar y lijado. Todos los recubrimientos WP/AQ aplicados sobre acero galvanizado, lijado y sin lijar, presentaron grado de oxidación “10” (sin fallo) hasta el final del ensayo (120 ciclos). En estas muestras se corroboró notablemente la eficiencia del sistema dúplex, ya que la duración de protección de 40 ciclos para

recubrimiento de galvanizado fue triplicada hasta 120 ciclos (2880 h) para el recubrimiento pintura/galvanizado, expuestas en medio ácido conteniendo SO_2 .

Los grados de **ampollamiento** para los recubrimientos ensayados en cámara de dióxido de azufre son presentados en la Tabla 5. Los recubrimientos *wash primer* pigmentados con tanato de zinc (T3 y T4) y cromato de zinc (Cr) manifestaron mayor grado de ampollamiento que las muestras WP-Fo, tanto para el sustrato galvanizado sin lijar (SI) y lijado (Li). El bajo grado de ampollamiento del WP-Fo (6F y 8F) correlaciona con el comportamiento observado en la Figura 3 frente al grado de oxidación. Asimismo, se observó en las muestras *wash primer* la presencia de discontinuidades de la película, las cuáles son ejemplificadas en la Figura 5. Aparentemente estos defectos fueron producidos por la ruptura de las ampollas, dejando el sustrato expuesto y acelerando el proceso corrosivo.

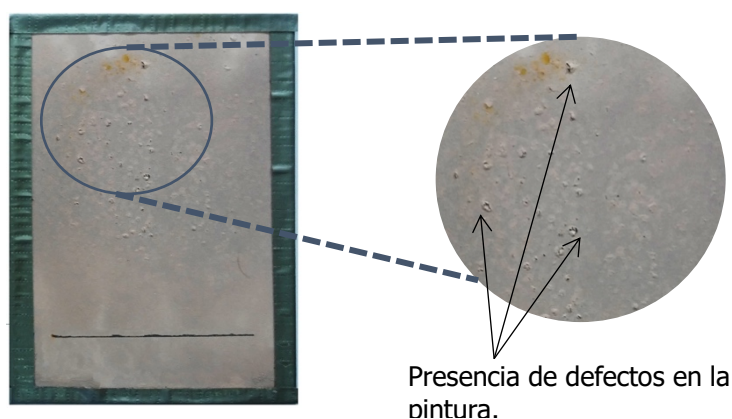


Figura 5. Muestra modelo con presencia de defectos en el recubrimiento (WP-Cr-SI), después de 49 ciclos de ensayo en cámara de SO_2 .

Tabla 5. Evolución del grado de ampollamiento en función del tiempo de ensayo en cámara de dióxido de azufre.

Pintura-Sustrato	Ciclos de exposición				
	1	14	56	70	120
WP-Cr-SI	10	10	6M	-	-
WP-Fo-SI	10	10	6F	-	-
WP-T3-SI	10	10	6M	-	-
WP-T4-SI	10	10	6M	-	-
WP-Cr-Li	10	10	6M	-	-
WP-Fo-Li	10	10	8F	-	-
WP-T-Li	10	10	6M	-	-
WP-T4-Li	10	10	6M	-	-
WP/AQ-Cr-SI	8F	8F	8MD	8MD	8MD
WP/AQ-Fo-SI	8M	8M	8M	8M	8M
WP/AQ-T3-SI	8F	8M	8MD	8MD	8MD
WP/AQ-T4-SI	8M	8M	8MD	8MD	8MD
WP/AQ-Cr-Li	10	10	8MD	8MD	8MD
WP/AQ-Fo-Li	8M	8MD	8MD	8MD	8MD
WP/AQ-T3-Li	8F	8M	8M	8M	8M
WP/AQ-T4-Li	8F	8F	8M	8M	8M

(-): ensayo finalizado

3.3. Evaluación de la resistencia a la corrosión en la zona de incisión

Se evaluó la resistencia a la corrosión en la zona de incisión, aplicada en todos los recubrimientos WP y WP/AQ al finalizar el ensayo de corrosión acelerada en cámaras de niebla salina y SO₂. La finalidad de este ensayo fue evaluar el comportamiento frente a la corrosión en una zona de discontinuidad de la película. El procedimiento aplicado correspondió a la norma ASTM D1654, procedimiento A, método 2, y los resultados se muestran en la Tabla 6. El valor reportado, de acuerdo al método mencionado, consiste en determinar la distancia promedio entre la línea de incisión y la zona remanente de recubrimiento, después de aplicar un raspado uniforme sobre la zona de corte, dicha distancia es clasificada del 10 al 0, siendo este último la más baja clasificación.

Tabla 6. Resultados del comportamiento en la zona de incisión, según la norma ASTM D1654, de probetas pintadas de acero galvanizado nuevo, lijado y sin lijar, sometidas a ensayos de corrosión acelerada en cámaras de niebla salina y SO₂.

Pintura Sustrato	Niebla Salina		SO ₂	
	SI	Li	SI	Li
Exposición	2184 h		1344 h	
WP-Cr	4	4	5	6
WP-Fo	4	4	4	5
WP-T3	4	4	2	6
WP-T4	3	5	1	3
Exposición	3000 h		2880 h	
WP-Cr/AQ	3	3	2	3
WP-Fo/AQ	2	3	0	0
WP-T3/AQ	3	3	1	3
WP-T4/AQ	3	3	0	3

Los recubrimientos WP tienen un promedio de 4 para las muestras ensayadas en la cámara de niebla salina; no obstante, el tratamiento de lijado mejoró el comportamiento del WP-T4, observándose un ligero mejor desempeño comparado con los otros pigmentos. De manera general, las muestras ensayadas en la cámara de SO₂ manifestaron un mejor comportamiento para los WP sobre superficies lijadas con respecto a las no lijadas, resaltando una resistencia similar en la zona de incisión para el pigmento T3 comparado con el pigmento convencional cromato de zinc.

Los sistemas de pintura WP/AQ, mostraron un comportamiento similar (clasificación 3) para todos los pigmentos ensayados en la cámara de niebla salina. En el medio de SO₂ las probetas manifestaron una clasificación más baja (entre 0 a 2) para la superficie galvanizada sin lijar, mientras que para la superficie lijada mejoró su resistencia a 3 para todos los sistemas WP/AQ, a excepción del recubrimiento pigmentado con fosfato de zinc, que presentó la más baja clasificación (0) para ambos tipos de superficie.

En resumen, para el ensayo de dióxido de azufre, el comportamiento en zona de incisión, de los recubrimientos conteniendo tanatos de zinc (T3 y T4) tiende a ser equivalente al formulado con cromato de zinc cuando son aplicados en sustratos de acero galvanizado lijado.

4. Conclusiones

En el ensayo de niebla salina se observó un comportamiento similar frente a la oxidación, de los pigmentos T3 y cromato de zinc (Cr) cuando el sistema WP/AQ es aplicado sobre acero galvanizado lijado.

Para el ensayo de dióxido de azufre los recubrimientos *wash primer*, pigmentados con cromato de zinc y tanato de zinc, T3, presentaron similar comportamiento frente a la corrosión (oxidación) durante el periodo de exposición. Con relación el grado de ampollamiento el desempeño de todos los recubrimientos fue equivalente.

Los WP/AQ aplicados sobre acero galvanizado, lijado y sin lijar, presentaron grado de oxidación "10" (sin fallo) hasta el final del ensayo (120 ciclos). De esta manera, la duración de la protección después de 40 ciclos para el recubrimiento galvanizado (desnudo) fue triplicada hasta 120 ciclos (2880 h) para el sistema Dúplex (galvanizado + pintura), cuando son expuestos al medio ácido, en cámara de dióxido de azufre.

El comportamiento en zona de incisión, para el ensayo de dióxido de azufre, de los recubrimientos

conteniendo tanatos de zinc (T3 y T4) tiende a ser equivalente al formulado con cromato de zinc cuando son aplicados en sustratos de acero galvanizado lijado.

5. Agradecimientos

Los autores agradecemos al FINCyT (Fondo para la Innovación, la Ciencia y la Tecnología), [proyecto No 158-FINCyT-IA-2013], por ser el marco para el desarrollo de la presente investigación. Asimismo, agradecemos a la empresa SILVATEAM Perú por habernos proporcionado el polvo de Tara. Por último, agradecemos al Instituto de Corrosión y Protección de la Pontificia Universidad Católica del Perú por proporcionar el recurso humano, equipamiento e infraestructura para el desarrollo del presente estudio.

6. Referencias

[1] M. Bethencourt, F.J. Botana, M. Marcos, R.M. Osuna, J.M. Sánchez-Amayaa. “Inhibitor properties of “green” pigments for paints”. *Progress in Organic Coatings*, vol. 46 p.p. 280–287, 2003.

[2] J.Van Eijnsbergen. “Duplex Systems. Hot-dip Glavanizing plus Painting”. 1st edn. Elsevier, Amsterdam, 1994.

[3] S. Sathiyarayanan, S. Syed Azim, G. Venkatachari. “Corrosion protection of galvanized iron by polyaniline containing wash primer coating”. *Progress in Organic Coatings*, vol. 65, pp. 152–157, 2009.

[4] O. D’Alessandro, G.J. Selmi, C. Deyá, C. *et al.* “Formulation and Assessment of a Wash-Primer Containing Lanthanum “Tannate” for Steel Temporary Protection”. *J. of Materi Eng and Perform*, vol. 27, pp. 687–704, 2018. [en línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11665-017-3103-y>

[5] A. Hadzich, S. Flores, J. Caprari, R. Romagnoli. “Study of zinc tannates prepared with Tara powder (*Caesalpinia spinosa*) as anticorrosive pigments in alkyd paints and wash primer formulations”. *Progress in Organic Coatings*, vol. 117, pp. 35-46, 2018. [en línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944017303740>

[6] A. Hadzich. “Síntesis y caracterización del Tanato de Zinc a partir del polvo de Tara (*Caesalpinia Spinosa*) y Óxido de Zinc como pigmento anticorrosivo para pinturas industriales.

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Tesis para optar el grado de Magister en Ingeniería y Ciencia de los Materiales, 2016.