

# Factores condicionantes de la durabilidad de los sistemas de pinturas anticorrosivas sobre acero en exposiciones atmosféricas

J. Simancas<sup>(\*)</sup> y M. Morcillo<sup>(\*)</sup>

**Resumen:** Se resumen los resultados de una investigación en la que diez sistemas típicos de pintura se expusieron durante 8 años en distintas atmósferas-tipo de España, con el fin de evaluar la influencia del tipo de atmósfera, naturaleza y espesor del sistema de pintura y grado de preparación superficial, en el comportamiento anticorrosivo de los recubrimientos de pintura.

Palabras clave: **Pinturas anticorrosivas. Exposición atmosférica. Degradación. Durabilidad.**

## Factors influencing the durability of anticorrosive painting systems on steel in atmospheric exposures

**Abstract:** The experimental results obtained with ten typical painting systems exposed during eight years in ten Spanish atmospheres are summarized. The effects of the type of atmosphere, characteristics of the paint systems (generic type and thickness), and steel surface preparation in the anticorrosive performance are analysed.

Keywords: **Anticorrosive paints. Atmospheric exposure. Degradation. Durability.**

### 1. INTRODUCCIÓN

Por lo general, en la protección por pinturas anticorrosivas no se emplea una única pintura, sino una serie de ellas, cada una con distinta misión, que constituyen lo que se denomina el sistema o esquema de pintura: pintura de imprimación, que suele contener pigmentos inhibidores de la corrosión, pinturas intermedias, para dar espesor (efecto barrera) y pintura de acabado (color, resistencia química, etc).

De acuerdo con Keane (1), en el diseño protector por pinturas anticorrosivas, más que hablar de un sistema de pintura, se debería de hablar de un sistema de pintado, donde intervendrían no solamente el tipo y el espesor de las diferentes pinturas utilizadas (sistema de pintura), sino también la preparación previa de la superficie metálica y el modo y condiciones de aplicación del recubrimiento, factores todos ellos de importancia decisiva para la vida del

revestimiento protector. Entre los factores condicionantes de la vida de los recubrimientos de pintura en exposiciones atmosféricas destacan: *a)* la agresividad de la atmósfera, en sus componentes climáticos (temperatura, *T*, humedad relativa, *HR*, radiación solar, etc) y contaminación; *b)* el estado de la superficie metálica (posible presencia de productos de corrosión, especies agresivas, etc.) y *c)* características del sistema protector (tipo, espesor, etc).

Los recubrimientos de pintura expuestos a la atmósfera experimentan con el tiempo una degradación progresiva que conduce a una pérdida completa de sus propiedades protectoras. El conocimiento de los mecanismos de degradación atmosférica de los sistemas de pintura y su durabilidad exigen una experimentación en campo, lo que supone el gran inconveniente de la lentitud de respuesta de este tipo de ensayos. Para paliar este gran inconveniente se acostumbra a realizar ensayos de corta duración (ensayos acelerados de corrosión, ensayos electroquímicos, etc.), alterando las condiciones de exposición. Frecuentemente, las conclusiones a las que se llega con este tipo de experimentación se alejan de la realidad.

(\*) Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CENIM (CSIC), Avda. de Gregorio del Amo, 8. 28040-Madrid (España).

En este trabajo se exponen algunos resultados de una investigación, iniciada hace tiempo en el CENIM, en la que diez sistemas típicos de pintura se expusieron en distintas atmósferas-tipo, con el fin de conocer los factores condicionantes de su durabilidad.

## 2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la preparación de las probetas (250 × 125 × 3 mm), se partió de chapas de acero de construcción, laminado en caliente, con una condición superficial correspondiente al grado A de la norma sueca SIS 055900 (2).

Para evaluar el efecto de la presencia de herrumbre (no contaminada con especies nocivas, tales como Cl, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, etc.) en la intercara acero/pintura, fue necesario preoxidar el acero en una atmósfera rural (no contaminada) hasta el grado B de la citada norma sueca. Se consideraron distintos grados de limpieza de la superficie oxidada: BSt-2 (limpieza manual) y BSa 2, BSa 2 1/2 y BSa 3 (limpieza por chorro con abrasivo). Como referencia se consideró el grado ASa 3, (acero de partida, grado A, no preoxidado y granallado al grado Sa 3).

Se aplicaron por proyección aerográfica una gama muy diversa de sistemas de pintura de gran utilización práctica. En la tabla I se detallan, para cada sistema de pintura, los espesores de película seca ensayados.

Antes de la exposición se realizó una incisión de 1 mm de anchura y 100 mm de longitud al recubrimiento de pintura, para conocer el comportamiento y la deslaminación del sistema de pintura en zonas dañadas.

Los bordes de las probetas disponían de un mayor espesor de recubrimiento, aplicado por

inmersión, para evitar deterioros anticipados del sistema en esas zonas críticas de la superficie metálica.

Los ensayos de exposición atmosférica se llevaron a cabo en una red de estaciones de ensayo (Tabla II), calibrada desde el punto de vista de su corrosividad atmosférica. Periódicamente se realizaron evaluaciones del grado de herrumbre de las superficies pintadas (ASTM D-610 (3) y deslaminación (mm) de las películas de pintura en la zona de incisión.

Los ensayos tuvieron que darse por finalizados a tiempos inferiores a 8 años de exposición, por distintas razones, en las siguientes estaciones de ensayo: Hospitalet (28 meses), Montcada (60 meses), Sestao (36 meses) y Vigo (84 meses).

TABLA II.— Clasificación de las diferentes estaciones de ensayo en cuanto al tipo de atmósfera aparente y corrosividad hacia el acero al carbono

TABLE II.— Test sites: apparent atmosphere and corrosiveness towards the carbon steel

Tipo de Atmósfera		Estación	Corrosividad*
Rural		El Pardo Polinya	Media-Baja
Urbana	Suave	Madrid Montcada	
Industrial	Moderada Suave	Hospitalet San Adrián	Media-Alta
Industrial/ Marina	Moderada	Cartagena	Alta
	Moderada	Sestao Vigo	
	Severa	Huelva	Muy Alta

\* De acuerdo con ISO/9223 (4).

TABLA I.— Especificaciones correspondientes a los diferentes componentes de los sistemas de pintura ensayados y espesores totales de película seca

TABLE I.— Characteristics of paint systems. Specifications and total dry film thicknesses (DFT)

Sistema de Pintura	Espesor (µm)				Componentes del Sistema		
	E 1	E 2	E 3	E 4	Imprimación	Intermedia	Acabado
Graso/ Alcídico (1)	60-90	90-130	170-200	210-270	INTA 164101	—	INTA 164218
Graso/ Alcídico (2)	50-70	90-110	90-110	130-150	INTA 164103	—	INTA 164218
Alcídico	70-90	100-120	90-110	120-140	INTA 164201A	—	INTA 164218
Clorocaucho	60-70	80-90	110-120		INTA 164705	INTA 164701A	INTA 164704A
Vinílico	60-70	80-90	110-130	140-160	INTA 164604	INTA 164602A	INTA 164603A
Poliuretano	100-110	120-130	120-140	140-160	RENFE03323125	RENFE 03323125	RENFE03 323 125
Epoxi/ Poliuretano	90-110	150-160	150-170	180-200	MIL-C-82407 (CG)	RENFE 03323125	RENFE 03323125
Rico en Cinc (PRZ)	50-70	120-140			INTA 164408	—	—
PRZ/Clorocaucho	80-90	100-110	120-130	140-150	INTA 164408	INTA 164701A	INTA 164704A
PRZ/ Vinílico	90-110	110-130	120-140	140-160	INTA 164408	INTA 164602A	INTA 164603A

### 3. SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y PRINCIPALES CONCLUSIONES

La tabla III presenta los valores medios de los resultados obtenidos en las 10 estaciones de exposición atmosférica, en cuanto al grado de oxidación de la superficie pintada y deslaminación del recubrimiento en zonas próximas a la incisión, exhibido por el esquema de pintura al finalizar el período de exposición correspondiente a cada estación. En (5) se dan detalles más amplios sobre esta investigación.

Los sistemas de pintura aplicados sobre acero y expuestos a la atmósfera experimentan distintos tipos de deterioro: *a)* degradación de determinadas propiedades físicas y químicas del recubrimiento por la acción directa del medio atmosférico (cambios de color, pérdida de brillo, enyesamiento, cuarteamiento, etc.), y *b)* corrosión del acero base en la intercara acero/recubrimiento, manifestándose en forma de ampollamiento del recubrimiento orgánico, aparición de productos de corrosión del acero base en la superficie de la pintura, por rotura de las ampollas debido a la acumulación de productos de corrosión en su interior, y deslaminación del recubrimiento en discontinuidades (incisiones) de la película de pintura.

Atendiendo a este último tipo de degradación, a continuación se pasa revista a los efectos encontrados para las distintas variables estudiadas.

#### 3.1. Preparación de la superficie de acero

##### 3.1.1. Grado de eliminación de la herrumbre

No se observan, en general, grandes diferencias entre los estados de superficie *ASa 3*, *BSa 3*, *BSa 2 1/2* y *BSa 2*. En cambio, cuando la preparación de la superficie corresponde al grado *BSt 2*, los sistemas de pintura presentan un deterioro anticipado, en forma de ampollas, con productos de corrosión en su interior debido a la actividad electroquímica de la herrumbre en la intercara acero/pintura.

##### 3.1.2. Naturaleza (tipo) del recubrimiento

Los sistemas estudiados pueden agruparse en dos niveles de comportamiento (durabilidad):

*Durabilidad moderada.* Son los sistemas tipificados como de baja resistencia química: graso/alcídico y alcídico. Dejan de proteger adecuadamente en espacios de tiempo relativamente cortos (< 5 años), dependiendo de la agresividad atmosférica

del lugar y del espesor del recubrimiento aplicado. Presentan, en general, buena humectación de las superficies de acero y bajas deslaminaciones en la zona de incisión,

*Alta durabilidad.* Son los sistemas tipificados como de alta resistencia química: poliuretánicos, epoxi/poliuretánicos, etc. Después de 8 años de exposición en las diversas atmósferas mantienen un comportamiento excelente, incluso al menor de los espesores aplicados.

Merecen un comentario aparte dos sistemas de pintura:

- El sistema clorocaucho y, en menor medida, el sistema vinílico, presentan, en la intercara acero/recubrimiento, una degradación polimérica importante por transformación química de los enlaces covalentes C-Cl y formación de ion cloruro. La herrumbre parece catalizar esta transformación (6).
- Los sistemas que llevan incorporados una imprimación de pintura *rica en cinc* presentan un comportamiento excelente, aun frente a los estados más críticos de la superficie de acero (acero herrumbrado al grado *BSt 2*) y en presencia de discontinuidades de película (incisiones), debido al mecanismo de protección catódica que opera en este tipo de recubrimiento. Por el contrario, la imprimación rica en cinc presenta como limitación el importante ataque que experimentan sus partículas de cinc en las atmósferas industriales.

##### 3.1.3. Espesor del sistema de pintura

Frente a un buen estado de la superficie, es decir, superficies de acero perfectamente limpia (grado *ASa 3*) o a lo más ligeramente herrumbrosa (grados *BSa 2 1/2* y *BSa 2*), no se observa en la mayoría de los sistemas un efecto del espesor en el intervalo de espesores considerados en el estudio. Únicamente se apartan de este comportamiento los sistemas graso/alcídico, que en las atmósferas más agresivas presentan menores durabilidades, y la ya referida limitación de la pintura rica en cinc en las atmósferas industriales.

Frente a estados de superficie de inferior calidad, es decir, presencia de herrumbre abundante (grado *BSt 2*), con excepción de los recubrimientos PRZ (pinturas ricas en zinc), los sistemas de pintura han mostrado fallos prematuros (cortas durabilidades). En este caso, sí se observa una influencia del espesor, pero poco importante a efectos prácticos, pues los aumentos de espesor considerados (factor de multiplicación 1,5-3,0) tan sólo conseguían retrasar en 1-2 años el deterioro prematuro del sistema de pintura.

TABLA III.– Grado de oxidación de la superficie pintada y deslaminación (mm) de los sistemas de pintura en la zona de incisión. Valores medios de los resultados obtenidos en las 10 estaciones de exposición atmosférica. Los datos de la columna BSa 2<sup>1/2</sup> son los valores medios de las cuatro estaciones donde se ensayó esta condición superficial

TABLE III.– Degree of oxidation of the painted surface and delamination (mm) of the paint film at the scribe. Average values of the results obtained in ten test sites. The data on the column BSa 2<sup>1/2</sup> are the average values for four test sites where it was considered that particular surface preparation condition

Sistema de pintura		Preparación de superficie									
		ASa 3		BSa 3		BSa 2 <sup>1/2</sup>		BSa 2		BSt 2	
		G.O.	D.	G.O.	D.	G.O.	D.	G.O.	D.	G.O.	D.
Graso/ Alcídico (1)	E1	7.0	1.3	8.3	1.3	8.8	2.0	8.6	1.3	8.4	1.7
	E2	8.2	1.3	8.6	1.3	9.3	2.0	9.0	1.4	8.9	2.7
	E3	9.0	1.1	9.1	1.3	9.3	1.8	9.2	1.3	9.0	1.6
	E4	9.3	1.0	9.3	1.4	9.5	1.8	9.3	1.4	8.9	1.6
Graso/ Alcídico (2)	E1	7.9	–	8.1	–	9.5		9.0	–	9.0	–
	E2	8.9	–	8.5	–	9.5		9.2	–	9.4	–
	E3	9.5	–	9.2	–	9.5		9.5	–	9.0	–
	E4	9.6	–	9.5	–	9.5		9.6	–	9.5	–
Alcídico	E1	9.6	2.4	9.6	1.9	10.0	2.5	9.3	2.3	9.1	2.5
	E2	9.5	2.1	9.6	2.1	9.8	2.5	9.4	2.6	9.8	3.4
	E3	9.6	2.2	9.7	1.8	10.0	2.6	9.5	2.3	9.6	2.9
	E4	9.7	2.1	9.6	2.1	9.8	2.4	9.7	1.9	9.7	2.5
Clorocaucho	E1	9.1	4.9	9.2	2.4	9.5	3.3	8.4	3.4	3.5	>4.4
	E2	9.6	2.4	9.4	2.1	9.8	3.4	8.3	3.3	3.3	>6.9
	E3	9.7	2.4	9.6	2.2	9.8	3.4	9.6	3.5	5.4	>6.3
Vinílico	E1	9.4	2.2	9.6	1.4	10.0	1.9	9.5	2.2	8.9	>4.6
	E2	9.6	2.9	9.5	1.6	10.0	1.9	9.6	2.6	8.7	>6.1
	E3	9.6	1.9	9.4	2.2	10.0	3.0	9.5	3.5	9.5	3.6
	E4	9.9	1.9	9.5	2.3	10.0	3.0	9.6	3.4	9.3	>3.5
Poliuretano	E1	9.8	>5.7	9.7	>6.4	10.0	>5.9	9.8	>4.1	9.8	>4.1
	E2	9.8	>4.2	9.8	>4.9	10.0	5.8	9.8	>4.2	9.8	4.5
	E3	9.9	>4.8	9.9	>5.3	10.0	5.6	9.9	>5.3	9.8	4.8
	E4	9.9	>4.8	9.9	>6.1	10.0	5.6	9.8	>6.1	9.9	4.5
Epoxi/ Poliuretano	E1	9.5	14.4	9.8	7.4	9.8	5.6	9.7	4.6	8.7	5.7
	E2	9.8	14.8	9.8	10.4	10.0	4.4	9.7	6.1	9.7	6.2
	E3	9.9	14.5	9.8	10.3	10.0	4.5	9.8	5.0	9.8	4.8
	E4	9.9	12.6	9.9	12.3	10.0	5.0	9.9	3.7	9.9	5.6
Pintura rica Zinc (PRZ)	E1	8.6	1.0	8.6	1	7.0	2.5	7.8	1	8.4	1
	E2	8.8	1.0	8.8	1	7.5	2.5	8.3	1	8.8	1
P.R.Z./ Clorocaucho	E1	9.1	1.4	9.3	1.7	9.8	2.0	9.5	1.5	9.5	1.5
	E2	9.5	1.6	9.5	1.6	10.0	2.0	9.5	1.3	9.5	1.4
	E3	9.7	1.2	9.8	1.3	10.0	2.3	9.8	1.2	9.8	1.1
	E4	9.8	1.2	9.8	1.3	10.0	2.0	9.8	1.2	9.8	1.2
P.R.Z./ Vinílico	E1	9.8	1.0	9.8	0.8	10.0	1.0	9.8	1.1	9.8	1.4
	E2	9.8	1.0	9.8	0.7	10.0	1.0	9.8	0.8	9.8	1.1
	E3	9.8	1.1	9.6	1.1	10.0	1.5	9.8	0.7	9.8	1.2
	E4	9.6	1.4	9.8	1.4	10.0	1.5	9.8	0.6	9.8	0.9

E: Espesor (ver Tabla I). – Fuerte deslaminación de la pintura de acabado.

### 3.1.4. Efecto de la corrosividad atmosférica

La mayor o menor corrosividad de la atmósfera donde se expusieron los sistemas de pintura ha influido notoriamente en el grado de deslaminación exhibido por el recubrimiento en la zona de incisión.

En cuanto al recubrimiento en sí, los diferentes sistemas no han presentado un comportamiento diferencial en las diferentes atmósferas. No es de extrañar este hecho. El que la atmósfera presente, por ejemplo, un cierto nivel de cloruros procedente del mar, habida cuenta de las lentas trasferencias de este ion a la intercara acero/pintura, no tiene porqué influir decisivamente en el comportamiento de los sistemas de pintura al menos en estos primeros 8 años de exposición atmosférica.

En esta consideración hay que exceptuar de nuevo a los sistema PRZ. La constitución de este tipo de recubrimiento, más parecidos a un recubrimiento de zinc que a un recubrimiento convencional de pintura, los hace, en cuanto a su durabilidad, muy dependientes del grado de corrosividad atmosférica.

## REFERENCIAS

- (1) KEANE, J.D. *AISC Eng. J.*, Enero, 1971, 6.
- (2) SIS 055900. Pictorial surface preparation standards for painting steel surface, 1967.
- (3) ASTM D-610. Standard method of evaluating degree of rusting on painted steel surfaces, 1968.
- (4) ISO 9223. Corrosion of metals and alloys. Classification of corrosivity of atmospheres, Ginebra (Suiza), 1992.
- (5) SIMANCAS, J. Estudio de distintas variables con influencia en el comportamiento en la atmósfera de los recubrimientos anticorrosivos de pintura aplicados sobre acero. Tesis Doctoral. Univ. Complutense de Madrid. Madrid (España). 1991.
- (6) MORCILLO, M., SIMANCAS, J., GARCIA FIERRO, J.L., FELIU B.S. y GALVÁN J.C. *Prog. Org. Coat.*, 21 (4), 1993: 315-325.