Ecoblasting
Tecnología en tratamiento y recubrimiento de superficies

INFORME TÉCNICO #4

Control de las condiciones ambientales durante la aplicación de sistemas anticorrosivos

CONTROL DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA APLICACIÓN DE SISTEMAS ANTICORROSIVOS

Resumen

La aplicación de sistemas de protección anticorrosiva constituye un proceso en el que intervienen múltiples variables capaces de influir sobre el desempeño y la vida útil del recubrimiento. Entre ellas, **las condiciones ambientales representan uno de los factores de mayor incidencia**, ya que afectan directamente la formación de la película, la adhesión al sustrato y el desarrollo de las propiedades físicas y químicas previstas por el fabricante. Variables como la temperatura ambiente, la humedad relativa, la temperatura superficial del sustrato y el punto de rocío deben ser verificadas antes y durante la aplicación, constituyendo una práctica habitual dentro de los programas de aseguramiento de la calidad.

Las principales normas internacionales vinculadas con la protección anticorrosiva, entre ellas la serie ISO 12944, la norma ISO 8502-4 y AMPP PA1 (SSPC-PA1), incorporan **el control de las condiciones ambientales como parte de las buenas prácticas de preparación de superficie, aplicación e inspección de recubrimientos**. Del mismo modo, las especificaciones técnicas de los principales fabricantes establecen límites operativos que deben respetarse para garantizar el correcto secado o curado de sus productos.

En el presente trabajo se revisan los fundamentos técnicos del control de las variables ambientales durante la aplicación de sistemas anticorrosivos, su relación con el comportamiento de los recubrimientos y las principales recomendaciones internacionales para su evaluación e interpretación, **destacando su importancia como herramienta de aseguramiento de la calidad** y de optimización del desempeño de los sistemas de protección.

1. Introducción

La evolución de los sistemas de protección anticorrosiva durante las últimas décadas ha permitido alcanzar expectativas de vida útil cada vez mayores, acompañando el desarrollo de recubrimientos de alta performance y especificaciones técnicas de creciente complejidad. Sin embargo, el desempeño de un sistema de pintura no depende exclusivamente de la calidad de los materiales seleccionados. La preparación de superficie, la correcta aplicación y las condiciones ambientales durante la ejecución constituyen variables igualmente determinantes para alcanzar la durabilidad prevista en el proyecto.

En numerosas oportunidades, el control de las condiciones ambientales es deficiente o en su defecto, es interpretado como un requisito puramente documental exigido por especificaciones técnicas o procedimientos de inspección. Esta visión reduce una práctica especialmente técnica a una simple actividad administrativa. En realidad, la medición de parámetros como la temperatura ambiente, la humedad relativa o el punto de rocío tienen como finalidad verificar que existan las condiciones necesarias para que los procesos de aplicación, secado y curado se desarrollen de acuerdo a los requerimientos del fabricante.

De esta manera, el control ambiental forma parte de las actividades habituales de los oficios relacionados con la aplicación de pintura industrial y protección anticorrosiva, en industrias como petróleo y gas, energía, minería, naval y fabricación de estructuras metálicas, donde la protección contra la corrosión representa un aspecto crítico para la seguridad, la confiabilidad y los costos de operación.

2. Fundamento

El comportamiento de un sistema de pintura es el resultado de la interacción entre cuatro elementos fundamentales: el diseño del sistema anticorrosivo, la preparación de la superficie, la correcta aplicación de los materiales y las condiciones ambientales existentes durante la ejecución y el curado inicial del recubrimiento. La ausencia de control sobre cualquiera de estos factores incrementa la incertidumbre respecto del desempeño esperado, independientemente de la calidad del material utilizado[1].

La condensación de humedad sobre una superficie metálica -aun cuando resulte imperceptible a simple vista- puede comprometer sensiblemente la adherencia del sistema de pintura, favorecer la actividad de contaminantes solubles, incrementando el riesgo de corrosión bajo película y generar defectos o fallas prematuras del recubrimiento[2]. Del mismo modo, temperaturas extremas, humedades relativas incompatibles con el mecanismo de curado del producto o variaciones bruscas durante la aplicación pueden modificar el comportamiento esperado del sistema.

El control ambiental busca garantizar que la preparación de superficie, la aplicación de pintura y formación de la película ocurran bajo condiciones compatibles con las cualidades del producto[3]. La experiencia acumulada por la industria demuestra que una preparación de superficie ejecutada conforme a las normas internacionales puede verse rápidamente comprometida si la aplicación se realiza bajo condiciones de condensación o sobre superficies cuya temperatura se encuentra próxima al punto de rocío. De igual manera, un producto de altas prestaciones puede desarrollar propiedades inferiores a las previstas cuando las condiciones ambientales alteran su velocidad de secado o el mecanismo de curado

Por este motivo, las especificaciones técnicas actualmente consideran el control ambiental como una actividad inseparable de la aplicación de recubrimientos y establecen criterios objetivos para autorizar el inicio, continuidad o suspensión de los trabajos.

3. Consideraciones técnicas

La confiabilidad de las mediciones ambientales depende no sólo de la correcta utilización de los instrumentos, sino también de la verificación de su estado de calibración, identificación y trazabilidad metrológica[4]. En consecuencia, la determinación de las condiciones ambientales debe realizarse utilizando equipos adecuados para cada variable, correctamente identificados y sometidos a programas de calibración o verificación periódica[5].

Asimismo, resulta recomendable que los registros de condiciones ambientales incorporen la identificación del instrumento empleado, número de serie y fecha de vencimiento de su calibración o verificación. Esta información fortalece la trazabilidad de las mediciones y constituye un elemento de respaldo técnico frente a auditorías, inspecciones de terceros o eventuales análisis de causa de fallas. La calidad de una medición no depende únicamente de la exactitud del instrumento, sino también de la trazabilidad metrológica del equipo, de la competencia del operador y del procedimiento utilizado para realizar la determinación.

La correcta interpretación de las condiciones ambientales continúa siendo un aspecto fundamental del proceso de inspección. Un mismo valor de HRA puede resultar aceptable o no dependiendo de la temperatura ambiente, de la temperatura del sustrato, del mecanismo de curado del producto o de las recomendaciones particulares del fabricante. Del mismo modo, una superficie aparentemente seca puede encontrarse en condiciones inadecuadas para la aplicación si su temperatura se aproxima al punto de rocío.

La experiencia desarrollada por la industria demuestra que el registro sistemático de las condiciones ambientales no sólo constituye una herramienta para autorizar el inicio de los trabajos, sino también un elemento de análisis frente a eventuales desvíos detectados durante las etapas posteriores de inspección o durante la vida en servicio de la estructura. En numerosos casos, la disponibilidad de registros ambientales completos ha permitido identificar las causas probables de determinadas fallas prematuras, facilitando la implementación de acciones correctivas y evitando la repetición de inconvenientes en proyectos futuros.

Actualmente, los principales proyectos de protección anticorrosiva en fabricación de estructuras metálicas incorporan el control sistemático de las condiciones ambientales dentro de sus especificaciones técnicas (ET), y Planes de Inspección y Ensayos (PIE), exigiendo el registro documentado de las variables críticas antes del inicio y durante toda la ejecución de los trabajos. Esta información pasa a integrar el dossier o informe de calidad de la obra, permitiendo demostrar que la aplicación del sistema de pintura se desarrolló bajo condiciones compatibles con las establecidas en la ET y en las hojas de datos de los fabricantes.

4. Parámetros bajo control

La **temperatura ambiente** influye directamente sobre la viscosidad de la pintura, la velocidad de evaporación de los solventes y el desarrollo de las reacciones químicas de curado. Temperaturas inferiores a las recomendadas pueden retardar significativamente el secado, mientras que temperaturas elevadas aceleran la evaporación de solventes, modifican las propiedades reológicas del producto y pueden dificultar en los métodos de aplicación.

La **humedad relativa ambiente** (HRA) enseña la cantidad de agua –en forma de vapor- presente en el aire respecto de la máxima cantidad que éste puede contener a una determinada temperatura. Su importancia radica en que controla la probabilidad de condensación sobre las superficies y, además, puede influir sobre determinados mecanismos de curado, especialmente en productos sensibles a la humedad ambiental.

La **temperatura superficial** del sustrato constituye probablemente el parámetro más importante del proceso. La temperatura del sustrato rara vez coincide con la temperatura ambiente. Típicamente este valor debe ser superior al punto de rocío en al menos 3 ºC.

El **punto de rocío** (PR) corresponde a la temperatura a la cual el vapor de agua contenido en el aire comienza a condensarse. Cuando la temperatura superficial del acero desciende hasta ese valor, o se aproxima excesivamente a él, existe un elevado riesgo de formación de una película microscópica de agua sobre la superficie. La relación entre la temperatura del sustrato y el punto de rocío constituye, por lo tanto, uno de los indicadores más utilizados para decidir la aptitud de una superficie antes de iniciar la aplicación de un sistema anticorrosivo.

La **velocidad del viento** es importante para controlar defectos como el overspray, secado incorrecto o influir en la merma del material. Si bien no existe valor máximo establecido por consenso, es importante controlarla sobre todo en obras al exterior.

5. Influencia sobre el desempeño del recubrimiento

Las condiciones ambientales intervienen directamente sobre los procesos fisicoquímicos que experimenta un recubrimiento desde el momento de su preparación y aplicación hasta el desarrollo completo de sus propiedades de servicio[6].

En productos de secado por evaporación de solventes, la temperatura ambiente y la circulación de aire condicionan la velocidad con que éstos abandonan la película. Una evaporación excesivamente rápida puede favorecer la aparición de defectos superficiales, mientras que un secado demasiado lento aumenta el tiempo de exposición del recubrimiento a contaminantes ambientales y prolonga los tiempos de repintado[7].

En sistemas de dos componentes, como resinas epoxi o poliuretanos, la temperatura también modifica la velocidad de reacción química responsable del curado. Variaciones importantes respecto de las condiciones previstas por el fabricante pueden traducirse en alteraciones del tiempo de vida útil de la mezcla, del tiempo de secado, de la dureza final y de otras propiedades mecánicas del recubrimiento.

La presencia de humedad sobre el sustrato durante la aplicación constituye uno de los factores de mayor riesgo para la adherencia del sistema. Una película microscópica de agua puede actuar como barrera entre el acero y el recubrimiento, favoreciendo la formación de ampollamientos, pérdidas de adherencia y procesos de corrosión prematura una vez puesta la estructura en servicio.

La creciente difusión de normas internacionales, especificaciones técnicas y procedimientos de aseguramiento de la calidad ha contribuido además a homogeneizar los criterios de aceptación utilizados por fabricantes, inspectores, empresas aplicadoras y usuarios finales. Este lenguaje técnico común facilita la toma de decisiones durante la ejecución de los trabajos y fortalece la trazabilidad de las actividades desarrolladas, particularmente en proyectos donde intervienen múltiples actores.

6. Conclusiones

El control de las condiciones ambientales constituye una de las prácticas fundamentales dentro del aseguramiento de la calidad aplicado a los esquemas de protección anticorrosiva. Su finalidad excede ampliamente el cumplimiento de un requisito documental, ya que permite verificar objetivamente que el proceso de aplicación se desarrolla bajo condiciones compatibles con el correcto secado o curado del recubrimiento y con las prestaciones previstas durante su vida en servicio.

La temperatura ambiente, la humedad relativa, la temperatura superficial del sustrato y el punto de rocío representan variables estrechamente relacionadas entre sí, cuya interpretación conjunta resulta indispensable para evaluar la aptitud de una superficie antes y durante la aplicación de la pintura. La consideración aislada de cualquiera de estos parámetros puede conducir a conclusiones erróneas y aumentar la probabilidad de defectos que comprometan la adherencia, la continuidad de la película o la durabilidad del sistema de protección.

Las recomendaciones incorporadas por normas internacionales como la serie ISO 12944[8], la norma ISO 8502-4[9] y la práctica AMPP PA-1[10] reflejan el consenso alcanzado por la industria respecto de la importancia de estas verificaciones dentro del proceso de aplicación de recubrimientos. Del mismo modo, los principales fabricantes establecen límites operativos específicos para sus productos, confirmando que las condiciones ambientales constituyen un factor determinante para el desarrollo de las propiedades del recubrimiento.

Desde una perspectiva tecno-económica, la evaluación sistemática de las condiciones ambientales permite reducir la incertidumbre del proceso, optimizar la utilización de materiales y disminuir la probabilidad de fallas prematuras, reprocesos y costos asociados a reparaciones o ejecución de garantías. En consecuencia, el control y registro de estas variables deben entenderse como una herramienta de gestión de la calidad y de prevención de riesgos, contribuyendo a incrementar la confiabilidad del sistema anticorrosivo y a favorecer el cumplimiento de la vida útil prevista en la especificación.

En un escenario donde las exigencias de desempeño y durabilidad continúan incrementándose, la correcta interpretación de los parámetros ambientales en los procesos se transforma en un componente esencial de toda estrategia moderna de protección contra la corrosión.

Referencias

1. Coatings - the first line of defense in protecting structural Steel. AMPP technical reserch.
2. Li Bian, Yongji Weng, Xiangyi Li, Observation of micro-droplets on metal surface in early atmospheric corrosion, Electrochemistry Communications, Volume 7, Issue 10, 2005, Pages 1033-1038, ISSN 1388-2481.
3. Don J. Schnell; November 3–6, 2002. "Dehumidification Comes of Age." Proceedings of the SSPC 2002. SSPC 2002. Tampa, FL. (pp. 1-8). AMPP.
4. SSPC Pocket Guide to Coating Information https://doi.org/10.5006/PB-01301. Publisher: AMPP.
5. International Organization for Standardization. (2015). ISO 9001:2015, cláusula 7.1.5.
6. American Society for Testing and Materials ASTM D3276.
7. Funke, W. (1997). Problems and progress in organic coatings science and technology. Progress in Organic Coatings, 31(1–2), 5–9.
8. International Organization for Standardization. (2018). ISO12944 *Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Partes 1 a 9.*
9. International Organization for Standardization. (2018) ISO 8502-4. *Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Tests for the assessment of surface cleanliness — Parte 4.*
10. AMPP PA 1 – *Shop, Field and Maintenance Painting of Steel.* Association for Materials Protection and Performance.

Ecoblasting
Tecnología en tratamiento y recubrimiento de superficies

Av. Gral Paz 1160 - Piso 4
(C1429ELY) Buenos Aires, Argentina

+(54) (11) 4704-9790

Para conocer más sobre nuestros servicios y soluciones técnicas para la protección de superficies industriales, visitá nuestro sitio web:
www.ecoblasting.com.ar