



## RECUBRIMIENTO ECOLÓGICO: PINTURA AL AGUA

Fritz Rächle y Santiago Flores  
*Instituto de Corrosión y Protección ( ICP-PUCP )*  
*Pontificia Universidad Católica del Perú*  
*Apartado 1761, Lima, Perú*

### *Resumen*

El presente artículo reúne los fundamentos teóricos/prácticos de las pinturas al agua (PaA) que ya son una alternativa a las pinturas tradicionales. Sus propiedades son expuestas y discutidas para entender el trasfondo de este descubrimiento comparando sus características con las pinturas que emiten millones de toneladas de disolventes a la atmósfera. La aplicabilidad de las PaA mereció una especial atención.

*Revisión*

## INTRODUCCIÓN

Este artículo pretende explicar el funcionamiento y promover el uso de esta novedosa tecnología de protección anticorrosiva: las pinturas al agua. Se hará referencia únicamente a las novedades científicas y tecnológicas que ofrece este nuevo sistema de recubrimiento y no a otros aspectos relacionados con la aplicación y comportamiento de las pinturas.

En décadas pasadas, el desarrollo de la industria de las pinturas estuvo dirigido a la fabricación de productos base solventes, óptimos y eficientes técnica y económicamente, dejando de lado, por completo, el aspecto ecológico, el mismo que, felizmente, está cobrando mayor peso en la caminata tecnológica de la humanidad.

Las disposiciones legales en muchos países buscan disminuir la emisión de disolventes orgánicos a la atmósfera. Es por ello que la industria y laboratorios especializados se han concentrado en buscar pinturas que prescindan, en gran medida, de los disolventes orgánicos responsables, a su vez, de la formación de ozono y *smog* en las capas inferiores del aire.

En este sentido, **el único disolvente netamente inofensivo es el agua**. Después del tráfico vehicular, se considera a la industria de las pinturas como la mayor fuente de emisión de disolventes orgánicos a la atmósfera.

Los sectores industriales más contaminantes son:

- ♣ industria de pinturas
- ♣ industria química
- ♣ industria de petróleo (obtención y refinación)
- ♣ industria de prensa y pegamento

De los cuatro sectores mencionados, el 20-25% del total de emisiones corresponde a la industria de las pinturas, siendo mucho menor de lo que corresponde al sector transporte con un 50% del total de las emisiones [1]. Para tener una idea del total de las emisiones en un país industrializado, en Alemania se emitían, en el año 1991, unas 1,8 mill. de toneladas de disolventes a la atmósfera por año [1].

Sin embargo, algunos artículos, generalmente no incluyen el siguiente hecho importante: las fuentes antropogénicas sólo contribuyen en un 15% a

la emisión de compuestos orgánicos en nuestro planeta, mientras que el 85% restante lo produce la naturaleza misma por la existencia de la vida en sí.

Antes de tratar el tema de la sustitución de los disolventes orgánicos, se presenta el papel que desempeñan los mismos en las propiedades y características de las pinturas convencionales:

- ♣ regular la viscosidad
- ♣ mejorar el brillo
- ♣ mejorar la adherencia al sustrato
- ♣ homogeneizar y disolver los pigmentos de carga
- ♣ aumentar el tiempo de almacenaje («vida en lata»)

De la relación total de funciones (hasta 14) que se cree cumplen los disolventes, se han considerado las más significativas.

La utilidad de los disolventes, por tanto, es evidente, sin embargo, una vez realizado el «servicio», los disolventes deben evaporarse lo más rápido posible, con los correspondientes problemas ecológicos ya mencionados.

Además ¿ *Tiene sentido hacer evaporar tanto dinero invertido en ellos?* Esa doble cuestión entre ecología y economía es, actualmente, el motor que impulsa la evolución de la industria de las pinturas.

## 1. OPCIONES A LOS RECUBRIMIENTOS QUE CONTIENEN DISOLVENTES

Dentro de la gama de tecnologías disponibles que pueden substituir a las pinturas convencionales base solvente tenemos las siguientes:

- ♣ pinturas al agua, PaA (con un peso molecular de 1000-6000)
- ♣ dispersiones acuosas (con un peso molecular > 30 000)
- ♣ pinturas de alto contenido en sólidos
- ♣ pinturas en polvo
- ♣ pinturas que curan por radiación

Las pinturas en polvo (libres de disolvente) son las que han experimentado un crecimiento más rápido en cuanto a su producción, mientras las PaA ocupan el segundo lugar. Por otro lado, las pinturas convencionales están sufriendo una reducción leve pero continua.

En la figura 1 visualizamos una de las posibilidades para reducir la emisión de disolventes.

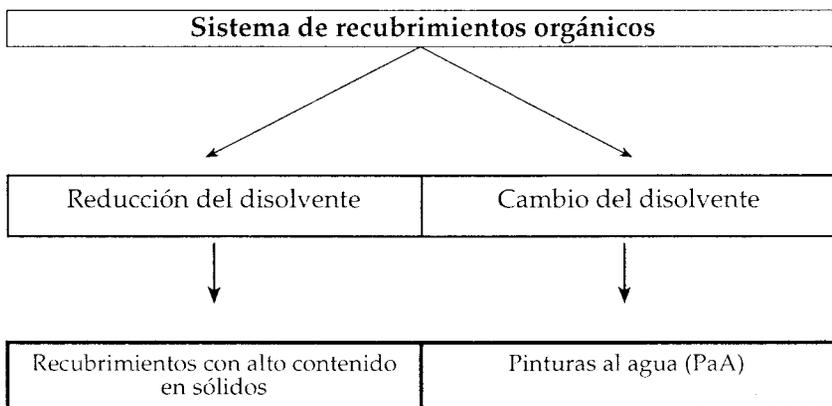


Fig. 1. Posibles caminos para lograr una mitigación de las emisiones al aire de compuestos orgánicos.

## 2. EL PAPEL DEL AGUA

El agua desempeña en las PaA el papel del disolvente y dispersante. Posee propiedades muy distintas de un disolvente orgánico (se utiliza el xilol como representante), como demuestra la tabla 1.

Saltan a la vista 8 propiedades por las cuales se distingue el agua de los disolventes orgánicos.

- ◆ El agua posee un punto de solidificación de 0°C. Lo cual quiere decir que para el almacenaje de las PaA se debe tener en cuenta este hecho, de lo contrario variarán la estabilidad, aplicabilidad y propiedades superficiales.
- ◆ El agua hierve a 100 °C con un calor de evaporación bastante elevado, ya que se trata de un disolvente puro y no de una mezcla, lo cual es habitual en la preparación de pinturas. La evaporación del agua puede influir en el brillo de la película seca, por ello, se suelen utilizar disolventes auxiliares en la elaboración de las PaA (véase más adelante).
- ◆ El agua exhibe una tensión superficial bastante más elevada que un disolvente orgánico. La consecuencia de ello es que se dificulta la hu-

Tabla1: Comparación del disolvente agua con un orgánico

Propiedades físicas	Agua	Disolvente orgánico
Punto de ebullición °C	100,0	144,0
Punto de solidificación °C	0,0	-25,0
Índice de " Puente de Hidrógeno "	39,0	4,5
Momento dipolar	1,8	0,4
Tensión superficial	73,0	30,0
Viscosidad	1,0	0,8
Número de evaporación ( éter dietílico = 1 )	80,0	14,0
Presión de vapor a 25 °C	23,8	7
Calor específico	4,2	1,7
Constante dieléctrica	78,0	2,4
Calor de evaporación	2,300	390,0
Conductividad térmica (x 1000 )	5,8	1,6
Densidad relativa a 20 °C	1,0	0,9
Índice de refracción a 20 °C	1,3	1,5
Punto de inflamación °C	-	23
Límite inferior de explosión ( en volumen )	-	1,1

mectación del sustrato (comúnmente acero) por la pintura. Los disolventes auxiliares y la resina misma de las PaA se encargan de suplir este déficit.

- ◆ El agua tiene, en comparación con un solvente orgánico, una entalpía de evaporación más elevada. Esto significa que requiere un mayor suministro de energía durante el proceso de formación de película y experimenta un tiempo de secado más prolongado. Si el sustrato es poroso (cartones, concretos, etc.), este fenómeno no tiene importancia, ya que el agua, al ser absorbida por las porosidades del sustrato, "desaparece" en el fondo facilitándose la evaporación. Además, se puede facilitar el secado con una corriente artificial del aire. Este costo adicional se ve compensado debido a que no hace falta la presencia de dispositivos antiexplosivos en el lugar de almacenaje o durante las operaciones de pintado.
- ◆ El agua no es inflamable. Los costos para la prevención de incendios durante la producción, el manipuleo y el almacenaje se reducen considerablemente.
- ◆ Los parámetros de disolución del agua son distintos a los parámetros de los disolventes orgánicos. El agua es mucho más polar y forma «

puentes de hidrógeno» más estables. Por eso las interacciones entre el vehículo y las moléculas de agua son de otra índole (calidad y cantidad), comparadas con el caso de un compuesto orgánico. Para que exista compatibilidad al interior de la pintura, los vehículos de las PaA deben exhibir propiedades de polaridad semejantes a las del agua, o sea, el vehículo mismo debe formar « puentes de hidrógeno ». Este comportamiento del agua tiene consecuencias en la viscosidad de la PaA, aunque el valor absoluto de la viscosidad de los dos disolventes apenas difiere. El influjo de la polaridad y de la tendencia a formar « puentes de hidrógeno » se aprecia claramente durante la dilución de las PaA y en la humectación del substrato o de los pigmentos. La «tolerancia» mostrada por el disolvente orgánico se pierde en el caso de las PaA. Restos de grasa en la superficie pueden afectar el proceso de aplicación de las PaA.

- ◆ El momento dipolar y la constante dieléctrica del agua son los responsables del comportamiento descrito en el párrafo anterior.
- ◆ Las conductividades eléctrica y térmica del agua se distinguen en órdenes de magnitud de las de los disolventes orgánicos. El agua no es un aislante, en contraste con los compuestos orgánicos. Esto es la causa de los problemas que presentan las PaA al momento de aplicar el recubrimiento por vía electrostática.

### 3. LOS DIVERSAS SISTEMAS DE LAS PaA

#### 3.1 Generalidades

De acuerdo al tamaño de las partículas, en química se pueden distinguir las soluciones auténticas, las dispersiones y las emulsiones. La siguiente figura 2 muestra la transición entre una solución auténtica y una dispersión. Es una representación en escala logarítmica.

La clasificación tradicional del vehículo que recoge la figura distingue, pues, tres órdenes de magnitud:

Partículas en solución: 0,001 mm (solubles en agua)

Partículas coloidales: 0,001-0,1 mm (dispersión coloidal)

Partículas de una dispersión: >0,1 mm

a) Los vehículos no iónicos solubles en agua son los siguientes:

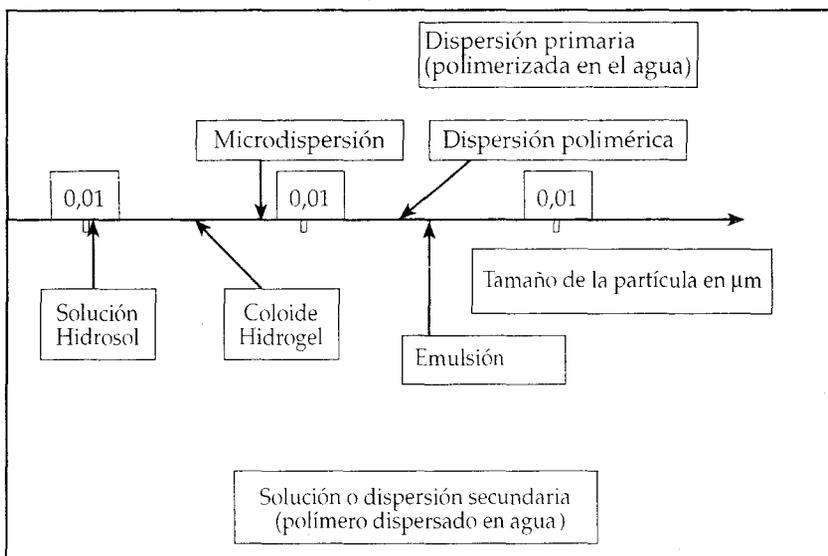


Fig.2. Tamaño de la partícula en función del método de obtención

colágeno  
 ésteres y éteres de celulosa  
 resinas amínicas  
 alcohol polivinílico

b) Entre los vehículos iónicos solubles en agua citamos:

silicatos  
 resinas alquídicas  
 poliéster saturados  
 resinas fenólicas  
 poliacrilatos ácidos  
 copolímero con ácido málico  
 aductos entre polibutadieno y anhídrido del ácido málico

c) Vehículos catiónicos solubles en agua:

resinas epóxicas modificadas con aminas (formación del catión amonio)  
 polibutadienos modificados con aminas (formación del catión amonio)

Los representantes del grupo a) son sólo solubles en agua por la presencia de múltiples grupos polares. Estos grupos, como -OH, C-O-C-, NH, etc., median entre el carácter hidrofóbico del esqueleto (cadena carbono-carbono) y el carácter hidrofílico de los grupos polares que, mediante las fuerzas del tipo van der Waals, « fuerzan « la aceptación en la fase acuosa.

La antigua regla de los alquimistas "*similia similibus solvuntur*» (lo semejante se disuelve entre sí), se puede «esquivar» de esta forma. «Hidrocarburos», adecuadamente modificados (que ya no llamaríamos hidrocarburos) se disuelven en agua.

Los representantes del grupo c) adquieren solubilidad en agua por la « formación de sales". Este principio es sumamente efectivo por dos razones:

Cualquier sal exhibe, en mayor o menor grado, solubilidad en agua, porque la *energía de hidratación* que se libera en el momento de la liberación de los iones existentes en la estructura reticular salina contribuye a la solubilización. La atracción mutua entre anión y catión en las sales puede ser descrita por una ecuación dentro de la cual aparece la constante dieléctrica en el denominador; quiere decir, que cuanto mayor sea la constante menor es la fuerza mutuamente atrayente. El agua tiene una de las mayores constantes dieléctricas, es decir, que para compuestos iónicos su poder solubilizador es enorme.

¡El efecto de estos dos parámetros se usa para solubilizar la resina de las PaA!

Por otro lado, para el caso de dispersiones la resinas son insolubles en agua, siendo sólo diluibles en aquella. Así, las dispersiones se obtienen por polimerización de monómeros emulsionados en agua. [ 3 ].

Representantes de estos monómeros son: acrilatos, metacrilatos, estireno, acetato de vinilo, etileno, butadieno, cloruro de polivinilo etc.

Después de la aplicación de la PaA el (los) vehículo(s) tienen que pasar a formar una película resistente al medio agresivo, pero sobre todo resistentes al agua.



El medio neutralizador es decisivo para la estabilidad del sistema [4] junto con la presencia de los disolventes auxiliares (véase abajo).

Para reducir más la cantidad de los disolventes auxiliares se integran unidades emulsivas dentro de la molécula. ¡O sea, se acopla el alcohol auxiliar en el esqueleto de la cadena de la resina.! De esta forma se mejora aún más la protección ambiental ya que las emisiones se reducen considerablemente.

Trietilamina y amoníaco son, según normas europeas, compuestos tóxicos y su uso se restringe a casos especiales. Por ello, se utilizan cada vez más aminas modificadas como dimetilaminetanolamina DMEA y dimetilaminometilpropanol DMAMP, que son productos biodegradables naturalmente.

El pH conseguido en la PaA oscila alrededor de 8,5.

Las resinas catiónicas, portadoras del grupo amínico se neutralizan con ácido acético (Hac) o con ácido fórmico (Hfo) que también muestran una alta biodegradabilidad. El ácido acético es fermentable y el fórmico es fácilmente oxidable por la presencia del grupo aldehído.

¡El potencial normal del Hfo es de 0,0 V!

Los puntos de ebullición de los ácidos son 100,7 y 118,0 °C, respectivamente.

A pesar de la modificación del esqueleto carbono-carbono se necesitan, en pequeñas proporciones, *disolventes* adicionales llamados *auxiliares* o *cosolventes* para disminuir la alta viscosidad inicial de los compuestos poli.

El sistema acuoso de las PaA consiste entonces de 4 componentes:

- ↳ polímero (ácido o básico)
- ↳ disolvente auxiliar (etanol, propanol, butanoles)
- ↳ medio neutralizador
- ↳ agua

El arte del fabricante consiste en la combinación ideal de los 4 componentes, ya que el equilibrio necesario es difícil de obtener.

El contenido en disolvente auxiliar es máximo 10%.

Después de la aplicación las componentes neutralizadores sea la amina o los ácidos alifáticos simples (casi sin excepción el Hac el Hfo) se evaporan. La hidrólisis de las sales deja en libertad suficientes cantidades de los neutralizadores y el equilibrio salino se desplaza a medida que la parte volátil se elimina. ¡De esta forma los compuestos poli pierden su solubilidad y coalescen!

## 5. MEDIOS DE CONSERVACIÓN

Como las pinturas al agua contienen este elemento vital, lógicamente algunas pinturas sirven como «caldo de cultivo» para diversas bacterias. Los microorganismos usan la pintura como fuente de energía y medio de reproducción, de ahí la necesidad de agregar «medios de conservación» para poder cumplir con los tiempos de almacenaje comercialmente establecidos.

Estos medios restan, en algo, el carácter ecológico relativamente puro de las PaA.

El ataque efectuado por los microorganismos se detecta fácilmente por:

- \* decoloración
- \* olor desagradable
- \* formación de gases
- \* cambio de las propiedades físicas (viscosidad, reología, etc.)

Un medio de conservación tiene que cumplir con los siguientes requisitos:

- \* compatible con las exigencias ecológicas
- \* poca o nula toxicidad para el ser humano y la población de peces
- \* poco influjo en el mecanismo de una planta depuradora

Aunque las tres exigencias están reunidas en el primer punto preferimos desglosarlas para mayor claridad

Los productos como pentaclorofenol o compuestos metalorgánicos a base mercurio han sido prohibidos.

El formaldehído se limita a casos muy especiales.

Los fenoles en general se utilizan cada vez menos.

El espectro de uso actual comprende productos como alcoholes, amidas, aminas con formaldehído y, adicionalmente, isotiazolinas, benzisotiazolina y cloroacetamida.

## 6. INHIBIDORES DE CORROSIÓN

“El agua exenta de oxígeno y libre de sales no inicia el proceso de corrosión de substratos férricos”.

Las PaA, sin embargo, pueden causar la corrosión del acero (manchas marrones) después del secado. Evidentemente, los componentes de la pintura fomentan la corrosión.

Estas manchas pueden ser los gérmenes de una corrosión severa y deben ser evitadas mediante inhibidores de corrosión. Estos inhibidores se distinguen de los pigmentos anticorrosivos (fosfatos, molibdatos y wolframatos de zinc), aunque los dos se potencian en su acción mutua (efecto sinérgico) [5,6].

Mientras los pigmentos anticorrosivos actúan a lo largo de muchos años, los inhibidores desempeñan su papel a mediano y corto plazos, además, estos últimos son solubles en agua.

La corrosión superficial se puede evitar adicionando productos calificables en 4 grupos según [7,8]:

- sustancias inorgánicas oxidantes (cromatos, dicromatos, metaboratos, carbonato de sodio (?), molibdatos, nitritos y nitratos)
- sustancias orgánicas con grupos polares (amínicos, carboxílicos, sulfhídrico, etc.)
- cationes metálicos
- sales orgánicas (benzoatos, naftenatos, octoatos, etc.)

Los compuestos de metales pesados se descartan, hoy en día, por razones ecológicas.

Muchos inhibidores pueden actuar, también, como biocidas.

Lo ideal es modificar el polímero del vehículo de tal manera que ya esté incorporado el inhibidor como grupo funcional del mismo. Se evitan complicaciones en la fabricación de las PaA y, considerando el aspecto ecológico, se suprime cualquier lixiviación potencialmente dañina de los inhibidores.

## 7. PIGMENTOS ANTICORROSIVOS

Mencionados ya brevemente, se distinguen por ser casi insolubles en las PaA, aunque su función dentro del sistema es la misma. Insistimos en que los inhibidores actúan mayormente durante la aplicación y el secado de la pintura mientras los pigmentos poseen un efecto permanente y no sólo se usan en las PaA sino también en las pinturas tradicionales.

La referencia [ 9 ] resalta el papel de los fosfatos de zinc que sustituyen a los cromatos. Su mecanismo de acción no está esclarecido del todo [10] pero se sabe que los iones fosfatos reaccionan en las zonas anódicas con los iones de hierro (II), el primer producto de la corrosión, dando fosfatos mixtos de Zn y Fe. De forma similar reaccionan los molibdatos y los wolframatos.

En las zonas catódicas, donde se efectúa la reducción del oxígeno sobre el acero, el zinc precipita en forma de hidróxido ( $pK_s$ : 16,75) o sales básicas de zinc, mayormente carbonatos[11].

Las características físicas de los pigmentos (granulometría y geometría) influye, también, en la actividad de los pigmentos [ 12, 13, 14 ]. Los boratos actúan modificando el valor de pH hacia ambientes básicos [15].

Los criterios que tienen que cumplir los pigmentos anticorrosivos son los siguientes:

- ♣ mostrar eficacia dentro de un rango de pH entre 4 y 10
- ♣ exhibir poca, pero suficiente solubilidad en el sistema
- ♣ inhibir la corrosión en la zonas anódicas y catódicas
- ♣ formar productos poco solubles sobre la superficie metálica
- ♣ crear una capa inhibidora entre metal y recubrimiento sin perjuicio de la adherencia

Este último punto es de reciente investigación y son compuestos del tipo aluminato de circonio y titanatos los que exhiben enlaces covalentes con el sustrato [16,17].

Otro tipo de pigmentos, que muestran absoluta insolubilidad en el sistema son los llamados « pigmentos pasivos » que sólo actúan a base de un efecto barrera. Este efecto consiste en prolongar el «camino de difusión» de los agentes del exterior causantes de corrosión hacia el sustrato.

Estos pigmentos, generalmente micas o talco, se fabrican en forma de escamas. Entre las micas mencionamos las del tipo  $5 M_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6 SiO_2$  en el cual M representa K, Li, Al, Mg y Fe, por ejemplo.

El talco tiene la fórmula química:  $Mg_3[Si_4O_{11}](OH)_2$ .

Entre los productos sintéticos destaca el óxido de hierro que es el más eficaz. [ 18,19 ].

Estos pigmentos barrera sólo desarrollan sus poderes inhibidores en presencia, como es lógico, de vehículos poliméricos densos, no hinchables por el agua de la atmósfera y con buena adherencia al sustrato.

La combinación entre pigmentos activos (fosfatos de zinc), promotores de adherencia (compuestos de circonio) y pigmentos pasivos (óxidos de hierro sintéticos) optimizan el efecto inhibidor total.

## **8. LA ACCIÓN DE LAS AMINAS Y LOS DISOLVENTES AUXILIARES EN LAS PINTURAS PaA**

La reacción de aminas con los poliésteres que llevan consigo grupos carboxílicos e hidroxílicos produce sales solubles en agua.

Esta neutralización se realiza, preferentemente, con aminas, que a su vez poseen no sólo un efecto neutralizador sino, además, la función de un disolvente auxiliar.

Estas «aminas modificadas» son aminoalcoholes como dimetilaminoetanol o dimetilaminometilpropanol que facilitan la dilución y almacenaje de la pintura.

Todas las aminas se comportan mejor que el amoníaco, según ambos criterios, Este comportamiento sugiere la conclusión que la basicidad de la amina no es el factor decisivo, sino sus propiedades adicionales como disolvente auxiliar.

### 8.1 Anomalía de la viscosidad

Las resinas ácidas, una vez neutralizadas, no pueden diluirse sólo con agua, sino que es indispensable la participación de disolventes auxiliares.

Al diluir el sistema resina ácida/amina se observa la llamada « anomalía de la viscosidad».

Es de esperar que al agregar agua al sistema se observe un descenso continuo de la viscosidad a medida que aumenta el contenido en agua.

Sin embargo, como muestra la figura 3, se presenta la mencionada anomalía:

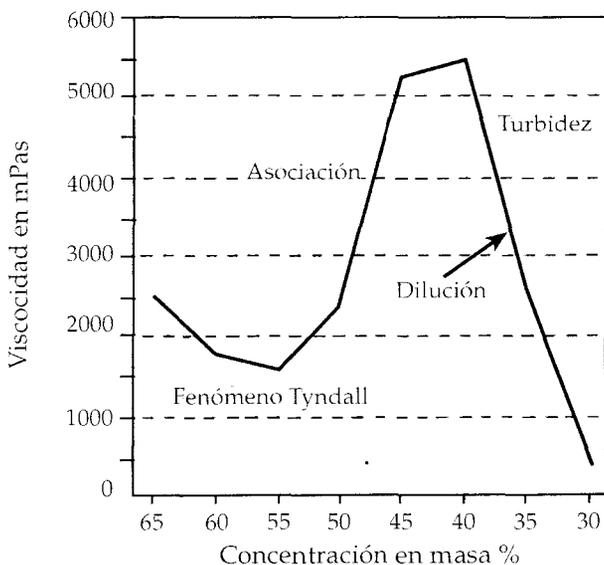


Fig. 3. Anomolía de la viscosidad al diluir las pinturas al agua

Primero, se observa un descenso moderado de la viscosidad (que podríamos llamar «normal») y, después, un marcado ascenso seguido de un rápido descenso.

La explicación de este fenómeno «extraño» es la siguiente:

Al agregar agua al sistema ocurren dos efectos antagónicos:

- a) la dilución hace disminuir la viscosidad, un efecto esperado.
- b) la disminución de la capacidad de disolución de la mezcla (entre agua y disolvente auxiliar) justamente por la continua dilución del disolvente auxiliar.

El efecto b) permite una asociación, vía fuerzas de van der Waals o fuerzas electrostáticas, entre las moléculas de la resina y los grupos polares existentes.

Esta asociación atraviesa un máximo hasta que, por efecto de la dilución (que equivale a un aumento de distancia entre las moléculas de la resina) las moléculas están tan separadas que las fuerzas de van der Waals ya no desempeñan papel alguno [20,21].

Cabe señalar que estas fuerzas agregadoras tienen un radio de acción muy reducido, de pocos Angströms.

La selección de la amina neutralizadora y del disolvente auxiliar debe efectuarse de tal manera que la “montaña” de la curva de viscosidad no caiga en el rango de la aplicación regular de la pintura. La selección correcta de la amina hace disminuir esta *montaña* considerablemente.

Mostramos primero la dependencia de esta *montaña* de la cantidad de disolvente auxiliar.

Al aumentar la cantidad del disolvente auxiliar mejora sensiblemente la aplicabilidad de la PaA acercándose al patrón de las pinturas tradicionales. La razón es que aumenta la capacidad de disolución de la mezcla y se suprime de esta forma la tendencia a la asociación del vehículo orgánico. Naturalmente, la cantidad del disolvente auxiliar está limitada por la cuestión ecológica (se evapora al aire) y por razones económicas. Finalmente,

el poder cubritivo disminuye, también, con el aumento en la cantidad del disolvente auxiliar.

En segundo lugar, en la figura 4 se muestra el efecto nivelador al usar diversos disolventes auxiliares: acetona (comportamiento no satisfactorio), etilglicol (no satisfactorio) y por otro lado, butilglicol (aceptable) y metiletilcetona (aceptable).

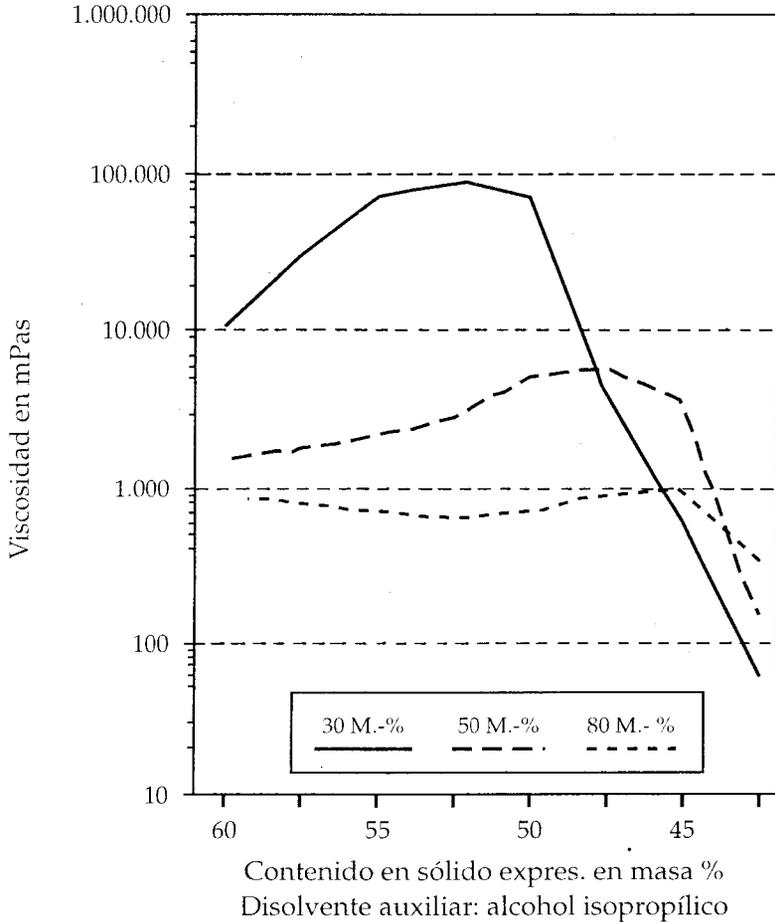


Fig. 4. La viscosidad de un PaA en función de la cantidad del disolvente auxiliar, en este caso el alcohol isopropílico

La viscosidad de la pintura preparada no sólo depende de la cantidad de disolvente auxiliar presente en el sistema sino también del tiempo de almacenaje pudiendo aumentar o descender, según el caso.

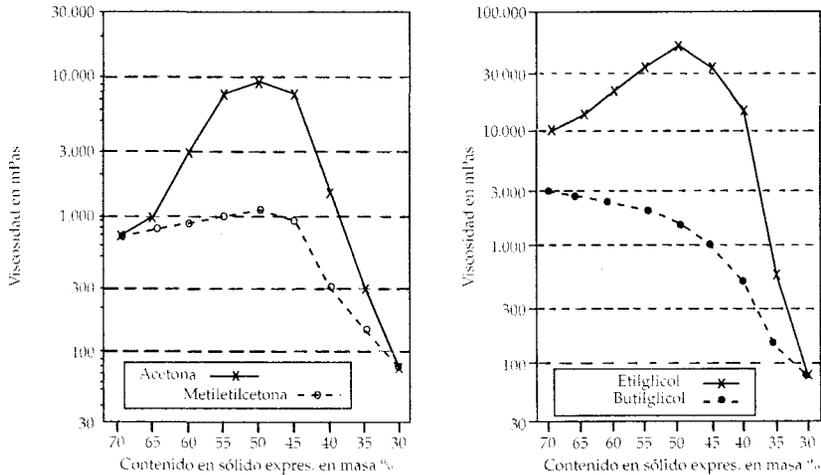


Fig. 5: Curvas de dilución de PaA para 4 disolventes auxiliares.

## 9. SECADO DE UNA PaA

El secado de una PaA ha sido objeto de estudio por parte de muchos investigadores [22, 23, 24 ].

Los siguientes factores influyen en el proceso de secado:

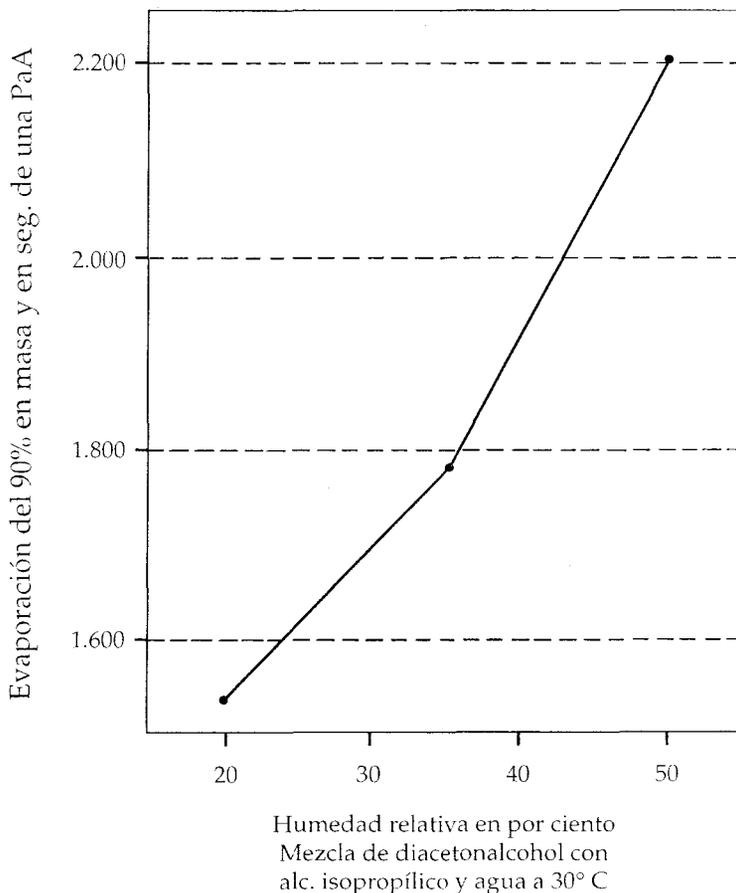
- ♣ carácter y cantidad del disolvente auxiliar
- ♣ humedad relativa del ambiente
- ♣ velocidad del aire circundante
- ♣ temperatura

El factor humedad relativa (H.R.) es especialmente importante para una aplicación en la costa peruana (sede principal de posibles consumidores de nuestro país).

Durante el invierno la H.R. en la costa peruana (con excepción del Norte extremo) oscila entre el 80 y 100%, observándose siempre tempe-

raturas relativamente bajas. La figura 6 muestra la relación entre la velocidad de evaporación (en segundos) de una mezcla agua con disolventes auxiliares, en este caso diacetonaalcohol con alcohol isopropílico, y la humedad relativa.

Se observan tiempos de secado de hasta 36 minutos para una temperatura de 30°C y una H.R. de solo 50%. Como se deduce de la fig. 6 para exteriores esa pintura en la costa peruana no sería la más recomendable.



**Fig.6:** Evaporación de una mezcla agua/diacetonaalcohol y alcohol isopropílico a 30 °C en función de la humedad relativa del ambiente.

Cuando se aplica una PaA en exteriores (donde no es posible el control artificial de la humedad relativa), se debe tener en cuenta el aumento considerable del tiempo de secado a medida que aumenta la H.R. Para las aplicaciones en interiores (carrocerías, máquinas, etc.) existen las llamadas «ventanas» que permiten la posibilidad o no de una aplicación. Las *ventanas* están reguladas por la H.R., la temperatura reinante y el movimiento de aire (ventiladores).

El secado puede ser forzado por radiación infrarroja (se realiza a la longitud de onda que corresponde a la adsorción máxima de la energía radiada por parte del grupo OH, relativa a la vibración de valencia asimétrica) [25]. También, puede ser conseguida por vía química (polimerización, poliadición, policondensación) a temperaturas elevadas o mediante la fotopolimerización inducida por radiación UV [ 26 ].

## BIBLIOGRAFÍA

1. Lack im Gespräch Nr. 24. (1991).
2. L.Serwe, I-Lack 52 (1984) Nr. 7, 262.
3. H. Kittel, Lehrbuch der Lacke und Beschichtungen, Vol. 1, parte 3, W.A.Colomb, Berlin 1974.
4. H. J. Luthardt, *Farbe + Lack* 87 (1981) Nr. 6, 456-460.
5. K. Kossmann, BASF, Aqueous Airdrying Anticorrosive Coatings, 11/87.
6. W. Funke, *Farbe+Lack* 87 (1981) Nr. 9, 787.
7. H. Leidheiser, *J. Coatings Techn.* 53 (1981) Nr. 678. 29.
8. New England Society of Coatings Technology, *J. Coatings Techn.* 54 (1982) Nr. 684, 63.
9. J. Boxall, *Paint and Resin* (1990) Nr. 4, 10.
10. P. J. Gardner et al., *J. Oil Col. Chem. Assoc.* 73 (1990).
11. S. Turgoose, *Polymers paint and Col. J.* 178 (1988) Nr. 4208, 108.
12. A. Bittner, *J. Coatings Techn.* 61 (1989) Nr. 777,111.
13. A. Bittner, *J. Oil Col. Chem. Assoc.* 73 (1990) Nr. 6, 231.
14. O. Leblanc, *J. Oil Col. Chem. Assoc.* 73 (1990) Nr. 6, 231.
15. H. Wienand y W. Ostertag, *Farbe+Lack* 88 (1982) Nr. 3, 183.
16. G. Sugermann y S. J. Monte, *Modern Paint and Coating* 78 (1988) Nr. 6, 50.
17. L. B. Cohen y S. Eichentopf, *Farbe+Lack* 94 (1988) Nr. 10, 816.
18. E. V. Carter y R. D. Laundon, *J. Oil Col. Chem. Assoc.* 73 (1990) Nr. 1, 7.

19. W. Funke, *Farbe+Lack* 89 (1983) Nr. 2, 86.
20. H. Magdanz, K. Berger y G. Schumann, *Farbe+Lack* 75 (1969) Nr. 3, 211-235.
21. A. Revillon y Ch. Aiguillon, XX Congress de Fatipecc, Nizza (1990), 41-52.
22. R. F. Eatony y F. G. Willebordse, *J. Coatings Techn.* 52 (1980) Nr. 660, 63-70.
23. T. Imai y K. Tsubouchi, *J. Coatings Techn.* 52 (1980) Nr. 666, 71-78.
24. L. O. Korum, *J. Oil Col. Chem. Assoc.* 63 (1980) 103-123.
25. A. Heinemann, *Coating* 24 (1991) Nr. 3, 96.
26. E. Beck, E. Keil y M. Lokai, *Farbe+Lack* 98 (1992) Nr. 3, 196.