



# Revisión analítica de la determinación del CPVC en recubrimientos base disolvente

**Ederley Vélez Ortiz**

Universidad de Medellín (Colombia)

**Julián A. Restrepo R.**

RapiTerra Group S.A.S

El presente trabajo busca contribuir al campo de la formulación de recubrimientos mediante la revisión y análisis de diversas expresiones matemáticas que pueden emplearse para determinar teóricamente el CPVC en sistemas base disolvente. Se incluye una discusión acerca del concepto del UPVC (Concentración Crítica de Pigmento en Volumen Última), y su relación con el CPVC. Asimismo, se proponen expresiones para calcular el índice de absorción de aceite (OAI, por sus siglas en inglés) y la densidad del sistema pigmentario, parámetros requeridos para el cálculo CPVC del recubrimiento. Se incluye, además, una introducción al denominado parámetro Lambda ( $\Lambda$ ), relación fundamental que permite predecir las propiedades y el desempeño de cualquier recubrimiento pigmentado. Finalmente, se presenta un ejemplo práctico que ilustra cómo calcular el CPVC de un recubrimiento pigmentado y cómo la relación entre el CPVC y el PVC de éste afecta su desempeño.

**PALABRAS CLAVE:** Recubrimientos; Disolventes; Pigmentación; Concentración de Pigmento en Volumen (PVC).

This paper seeks to contribute to the field of coating formulation by reviewing and analyzing various mathematical expressions that can be used to theoretically determine CPVC in solvent based systems. A discussion about the concept of UPVC (Ultimate Pigment Volume Critical Concentration), and its relationship with CPVC, is included. Also, expressions are proposed to calculate the oil absorption index (OAI) and the density of the pigment system, parameters required for the CPVC calculation of the coating. An introduction to the so-called Lambda parameter ( $\Lambda$ ), a fundamental relationship that allows predicting the properties and performance of any pigmented coating, is also included. Finally, a practical example is presented to illustrate how to calculate the CPVC of a pigmented coating and how the relationship between the CPVC and the PVC of the coating affects its performance.

**KEYWORDS:** Coatings; Solvents; Pigmentation; Pigment Volume Concentration (PVC).

## INTRODUCCIÓN

La Concentración Crítica de Pigmento en Volumen (CPVC, por sus siglas en inglés), es uno de los parámetros más importantes que debería tenerse presente en el proceso de desarrollo y formulación de cualquier recubrimiento pigmentado. Sin embargo, los métodos experimentales empleados para determinar el CPVC son lentos, laboriosos y los resultados obtenidos pueden variar dependiendo de la propiedad evaluada, y esto ha limitado su uso por parte de los formuladores. Hecho por el cual, se puede afirmar que la medición del CPVC de los recubrimientos convencionales no es una práctica lo suficientemente extendida y, en muchos casos, se desconoce su utilidad [1].

Por su parte, si no se quiere recurrir a un trabajo de medición en laboratorio, se tiene escasez de métodos de cálculo sencillos para determinar el CPVC, lo cual puede atribuir a la gran cantidad de variables involucradas en los cálculos, las complejas relaciones entre éstas y el entendimiento, que implica, por parte del formulador, de los tópicos relacionados [2].

La importancia del CPVC se basa en el hecho de que es un parámetro fundamental en la caracterización de las propiedades de cualquier recubrimiento pigmentado, ya que influye directamente en su estructura, esto permite relacionar dicho parámetro con el desempeño del recubrimiento final. Es decir, el CPVC es un parámetro clave de predicción del desempeño de cualquier recubrimiento pigmentado.

El CPVC se define como el PVC (Concentración de Pigmento en Volumen, por sus siglas en inglés), a partir del cual las diferentes propiedades del recubrimiento (físicas, mecánicas y ópticas), cambian de forma significativa. Por ejemplo, cuando un recubrimiento pigmentado presenta un CPVC > PVC, las propiedades mecánicas tienden a disminuir, mientras que las ópticas, como el poder cu-

briente, suelen mejorar, y viceversa.

Así, la industria de pinturas demanda herramientas más eficientes, sencillas y accesibles para evaluar este parámetro clave, que permitan una optimización más rápida y precisa de la formulación de un recubrimiento pigmentado para lograr unas propiedades de desempeño balanceadas.

## CONCEPTO DEL CPVC EN BREVE

Se ha demostrado que, variaciones en la concentración en volumen del sistema pigmentario de un recubrimiento pigmentado, provocan cambios significativos en sus propiedades y en su comportamiento final [3].

El PVC es una medida de la cantidad de pigmento (en rigor, sistema pigmentario) presente en un recubrimiento, expresada como una fracción del volumen total de sólidos y viene expresado matemáticamente como:

$$PVC = \frac{V_p}{V_p + V_R} \quad (1)$$

en donde,

$V_p$ : volumen del sistema pigmentario del recubrimiento.

$V_R$ : volumen de los sólidos del ligante, binder o resina.

El PVC influye significativamente en las propiedades de desempeño del recubrimiento pigmentado, ya que, al aumentar el PVC, se observan cambios en sus propiedades hasta alcanzar un punto crítico, denominado CPVC, en el cual se produce un cambio abrupto en el comportamiento y desempeño del recubrimiento.

Así, el CPVC se define teóricamente como la condición del PVC en el cual se tiene la cantidad justa de vehículo para cubrir todas las partículas del sistema pigmentario, sin dejar espacios vacíos.

El CPVC fue definido claramente y medido experimentalmente, por primera vez, en el importante trabajo de Asbeck y Van Loo en 1949 [3], convirtiéndose en un gran avance en cuanto al conocimiento y desarrollo de los recubrimientos pigmentados,

y, por supuesto, siendo la base de los trabajos posteriores [2,4,5].

Según Asbeck y Van Loo [2], el CPVC es un punto de transición físico fundamental en un sistema pigmento-ligante en el cual, la apariencia y comportamiento de los recubrimientos cambian considerablemente (la cual puede interpretarse como una definición práctica del CPVC).

## DEDUCCIÓN DE UNA EXPRESIÓN PARA DETERMINAR EL CPVC

A partir de la expresión del PVC, se puede definir el CPVC. Así, se tiene:

$$CPVC = \frac{V_p}{V_p + V_{R.C.}} \quad (2)$$

en donde,

$V_p$ : volumen del sistema pigmentario del recubrimiento.

$V_{R.C.}$ : volumen de los sólidos del ligante en el CPVC.

La expresión anterior, se puede escribir como:

$$\Rightarrow CPVC = \left[ 1 + \frac{V_{R.C.}}{V_p} \right]^{-1} \quad (3)$$

Para el caso del pigmento, considerando el concepto del índice de absorción de un medio humectante (AI), definido como una medida que indica la cantidad de medio humectante (generalmente aceite de linaza), necesaria para humedecer completamente una cantidad específica de pigmento seco y formar una pasta, y definiendo el parámetro IAm como el índice de absorción del sistema pigmentario, a partir de la expresión (3), se puede obtener que:

$$\Rightarrow CPVC = \left[ 1 + \frac{IA_m \cdot \rho_p}{100 \cdot \rho_{m.b.}} \right]^{-1} \quad (4)$$

en donde,

$IA_m$ : es el índice de absorción de la mezcla pigmentaria determinada en un medio humectante y expresado como una relación de unidades másicas (gr. de medio humectante/100 gr. de pigmento).

$\rho_p$ : es la densidad del sistema pigmentario.

$\rho_{m,h}$ : es la densidad del medio humectante en que se realizó la medida del índice de absorción (IA).

$$\Rightarrow CPVC = [1 + IA_M]^{-1} \quad (5)$$

siendo el  $IA_M$  el índice de absorción de la mezcla pigmentaria determinado en un medio humectante y expresado como una relación de unidades volumétricas (volumen de medio humectante / volumen de pigmento).

La ecuación anterior (5) sorprende por su simplicidad y elegancia (aunque Einstein decía que, ¡la elegancia era mejor dejársela al sastre!). Pero, ya sea que el término  $IA_M$  sea expresado como una relación de unidades volumétricas o másicas, ambas ecuaciones (4) y (5), constituyen opciones prácticas y sencillas para la determinación teórica del CPVC en recubrimientos base disolvente convencionales.

## ANÁLISIS DE LA EXPRESIÓN DEDUCIDA EN FUNCIÓN DEL ÍNDICE DE ABSORCIÓN (IA)

Es necesario tener presente que los proveedores de pigmentos, generalmente, reportan el índice de absorción (IA), como índice de absorción de aceite (OAI), el cual viene dado por una relación de unidades másicas, por lo cual, por motivos prácticos, se empleará la ecuación (4) para los fines ilustrativos de este trabajo. Incluso, en algunos casos, el OAI es reportado como una combinación de términos volumétricos y másicos, por ejemplo, usando las unidades de

(mL de medio humectante /100 gr de pigmento).

El éxito de la ecuación (4) dependerá de la elección del medio humectante. Por ser esta ecuación una expresión deducida teóricamente, en su deducción se ha establecido que, el medio humectante, debe corresponder al ligante polimérico (al 100 % de sólidos) empleado como resina en el recubrimiento analizado.

Debido a que la gran mayoría de las resinas empleadas en pinturas convencionales base disolvente son suministradas por el fabricante en forma líquida (lo que permite su fluidez, facilitando su manipulación y proceso de fabricación de la pintura), contiene, por tanto, una fracción de componente volátil o disolvente; en general, se puede afirmar que este tipo de resinas presentan un contenido de sólidos entre el 35-75 % de sólidos en peso. Es por ello que, medir el IA con la resina líquida, no proporciona un valor aceptable o realista del IA de la mezcla pigmentaria. Es decir, cuando la resina se encuentra disuelta en el disolvente, no posee las mismas características de humectación que tendría al 100 % de sólidos.

Si recordamos la definición del CPVC como el valor del PVC en donde hay justo la cantidad suficiente de resina o ligante polimérico para humectar y llenar completamente los espacios entre las partículas del sistema pigmentario, y si pensamos en la prueba para la determinación del índice de absorción de aceite (OAI), que establece el punto final de la prueba

como el punto en donde hay justo la cantidad suficiente de medio humectante (en este caso, aceite de linaza, cuya calidad se establece según la norma ASTM D-281 [6]), para humectar completamente una cantidad dada de pigmento y formar una pasta, vemos que ambas definiciones son equivalentes. Es por esto que se acepta, en los recubrimientos base disolvente, que la medida del IA es un parámetro que me permite establecer con muy buen grado de precisión la medida del CPVC.

Por otro lado, en los recubrimientos base agua en dispersión (recubrimientos que emplean resinas en dispersión acuosa), no se tiene una medida "tan exitosa" del CPVC a partir del índice de absorción: en este caso, se analiza el WAI (Índice de Absorción de agua, por sus siglas en inglés) y no el OAI, ya que el agua, como medio humectante, representa mejor las características de humectación de una resina en dispersión acuosa. Es evidente el hecho de que, la "resina base agua", al encontrarse en dispersión acuosa, modifica sustancialmente sus características de humectación, presentando, comparada con una resina en solución (base solvente), una menor capacidad ligante o índice de poder ligante (parámetro definido por Berardi en 1963 y denominado BPI -*Binder Power Index*- [7]).

Debido a que el aceite de linaza es un ligante líquido al 100 % de sólidos, es el "ligante ideal" para ser empleado como medio humectante en una prueba de absorción. Lo cierto es que, en términos estrictos, es necesario tener presente cuán bien el aceite de linaza reproduce las características de humectación del ligante con relación al sistema pigmentario, tal y como lo harían las resinas empleadas en los recubrimientos base disolvente convencionales.

Lo cierto es que se acepta que el aceite de linaza ofrezca características muy similares de humectación a este tipo de resinas. Pero si se analiza en detalle, nos daremos cuenta de que

» Debido a que el aceite de linaza es un ligante líquido al 100 % de sólidos, es el "ligante ideal" para ser empleado como medio humectante en una prueba de absorción

es obvio que el aceite de linaza humectará el pigmento de una manera muy similar a como lo harán ligantes poliméricos de su misma naturaleza química, o muy similar, por ejemplo, tal y como una resina alquídica (ya sea corta, media o larga en aceite), un aceite Body o un aceite uretánico.

Mientras que presentará mayores diferencias de humectación, por ejemplo, con resinas que presenten grupos químicos diferentes o que presenten mayores diferencias físico-químicas, tal y como una resina epóxica, amínica (ya sea úrea- formaldehído, poliamina o poliamida) o un poliéster insaturado. Aún así, el aceite de linaza constituye el medio humectante por excelencia para realizar la determinación del IA porque ofrece, entre los diferentes ligantes poliméricos empleados en los recubrimientos base solvente convencionales, características muy similares de humectación a este tipo de resinas.

## FACTORES QUE AFECTAN EL CPVC

Para establecer cuán acertada puede ser la expresión para la determinación teórica del CPVC (ecuación 4), desde un punto de vista teórico y sin recurrir a un trabajo experimental, es necesario tener presente qué factores afectan al CPVC en los recubrimientos base disolvente. Se sabe, con base en diferentes autores y trabajos experimentales, que el CPVC de los recubrimientos base disolvente es afectado principalmente por [1]:

- El índice de absorción de aceite del pigmento.
- Las características superficiales del pigmento (área superficial, tratamientos superficiales y características físico-químicas).
- El factor de empaquetamiento del sistema pigmentario.
- La solubilidad o tendencia a la lixiviación del sistema pigmentario en el tiempo.
- El grado de dispersión del sistema pigmentario.
- La estabilidad en el tiempo de la

dispersión del sistema pigmentario.

- El tipo y la cantidad de aditivos presentes en la formulación de la pintura.
- La dureza del polímero.
- La composición del ligante empleado.
- El tipo de ligante empleado.
- La morfología del ligante empleado.
- La formulación del ligante (tipo y cantidad de aditivos).

Se evidencia pues que, en la deducción de la ecuación (4), no se ha tenido en cuenta muchas de estas variables, como el factor de empaquetamiento del sistema pigmentario, la dureza del polímero, el tipo de ligante empleado, el tipo y la cantidad de aditivos presentes, entre otras. Pero debemos tener presente que, tener en cuenta todas estas variables en mismo modelo, puede requerir un proceso de deducción muy largo y engorroso, y conducir a obtener un modelo particularmente complejo. Además que, quizás, no se cuente con toda la información en la literatura para correlacionarlos adecuadamente entre sí en un mismo modelo de cálculo.

## CONCEPTO DEL UPVC

Para tener en cuenta el grado de dispersión del sistema pigmentario, es necesario tener en cuenta el concepto del UPVC ó UCPVC (*Ultimate Pigment Volume Concentration*). El concepto del UPVC fue definido por Walter Asbeck en 1977 [8], y lo definió como el valor máximo que puede alcanzar el CPVC en un recubrimiento pigmentado en función de su grado de dispersión.

Es decir, el CPVC muestra que depende del grado dispersión del sistema pigmentario, ya que, a medida que aumenta, o mejor dicho grado de dispersión, aumenta el CPVC, y lo hace hasta un punto denominado UPVC, por ser el último CPVC en el que se observa que tiene influencia el grado de dispersión. En este grado de dispersión, se tiene que: CPVC = UPVC,

y, por tanto, si se aumenta el grado de dispersión el CPVC no cambiará más.

Es así como vemos que la expresión (4) corresponde realmente a la condición del UPVC, es decir:

$$\Rightarrow UPVC = \left[ 1 + \frac{IA_m \rho_p}{100 \rho_{m,h}} \right]^{-1} \quad (6)$$

y para expresar el CPVC en función del mencionado grado de dispersión del sistema pigmentario, es necesario tener presente el tamaño promedio del aglomerado presente en el recubrimiento. Así, a partir del trabajo de Asbeck [9], se tiene que el CPVC puede expresarse como:

$$\Rightarrow CPVC = UPVC - UPVC^2 \left\{ 1 - \frac{d}{D} \right\}^3 \quad (7)$$

en donde,

d: es el tamaño de partícula promedio de los pigmentos del sistema pigmentario.

D: es el tamaño promedio del aglomerado de los pigmentos.

Es por ello que la relación d/D se interpreta como el tamaño relativo del aglomerado o del grado de aglomeración del sistema pigmentario (en términos estrictos, se podría hablar de aglomeración, agregación o floculación, y en cualquiera de los casos, se presentarán grupos de partículas primarias unidas con un tamaño equivalente D). Así, cuando se tiene la condición D = d, no se tiene aglomeración y el término d/D = 1; mientras que, en los casos que se presenta aglomeración, el término es d/D < 1.

## EXPRESIÓN FINAL PARA EL CÁLCULO DEL CPVC

Teniendo presente que, si el medio humectante empleado para determinar el índice de absorción es aceite de linaza, el término IA<sub>m</sub> se transforma en OAI<sub>m</sub> y, sabiendo que su densidad es de 0.935 g/mL, se tiene que:

$$\Rightarrow UPVC = \left[ 1 + \frac{OAI_m \rho_p}{93.5} \right]^{-1} \quad (8)$$

en donde,

OAI<sub>m</sub>: es el índice de absorción de

aceite del sistema pigmentario, en unidades de gr de aceite de linaza /100 gr de pigmento.

$\rho_p$ : es la densidad del sistema pigmentario en unidades de g/mL.

Con base en un trabajo similar de uno de los autores [1a], se propone que el término  $OAI_m$  puede calcularse como:

$$OAI_m = \left[ \sum_i^n \left( \frac{x_i}{OAI_i} \right) \right]^{-1} \quad (9)$$

en donde,

$OAI_m$ : es el índice de absorción de aceite del sistema pigmentario.

$x_i$ : es la fracción en peso del pigmento  $i$  de la mezcla pigmentaria.

$OAI_i$ : es el índice de absorción de aceite del pigmento  $i$  de la mezcla pigmentaria.

$n$ : es el número de pigmentos de la mezcla pigmentaria.

y la densidad de la mezcla pigmentaria, de manera análoga, puede

de calcularse como:

$$\rho_p = \left[ \sum_i^n \left( \frac{x_i}{\rho_i} \right) \right]^{-1} \quad (10)$$

en donde,

$\rho_p$ : es la densidad del sistema pigmentario.

$x_i$ : es la fracción en peso del pigmento  $i$  de la mezcla pigmentaria.

$\rho_i$ : es la densidad del pigmento  $i$  de la mezcla pigmentaria.

$n$ : es el número de pigmentos de la mezcla pigmentaria.

La ecuación (8) es, pues, la ecuación deducida propuesta en este trabajo para la determinación teórica del CPVC en recubrimientos base disolvente.

Naturalmente, cuando se presente aglomeración del sistema pigmentario, en mayor o menor grado, se debe emplear la ecuación (7) para obtener el CPVC del sistema. En los casos en donde se tenga una completa o "perfecta dispersión del sistema pigmenta-

rio", se tiene la condición en donde, CPVC = UPVC, y en donde el CPVC viene dado por la expresión (8).

### CONCEPTO DEL PARÁMETRO LAMBDA ( $\Lambda$ )

Se puede determinar la relación entre el PVC y el CPVC, que en la literatura se denomina como parámetro Lambda ( $\Lambda$ ), Lambda ó PVC reducido [10], el cual se calcula como:

$$\Lambda = \frac{PVC}{CPVC}$$

En rigor, algunos autores [10], consideran que el parámetro Lambda es el verdadero parámetro clave en la formulación de cualquier recubrimiento pigmentado, considerado más importante que el CPVC, ya que el CPVC, por sí mismo y de manera aislada, no aporta información del desempeño del recubrimiento, pero sí lo hace su relación con el PVC del mismo. Por tanto, el parámetro Lambda ( $\Lambda$ ), es el indicador fundamental que permite predecir las

TABLA 1.

**FORMULACIÓN DEL ANTICORROSIVO ALQUÍDICO AMARILLO DE ALTO DESEMPEÑO**

Componente	% peso
Resina alquídica media en soya (50 %)	44.70
Cromato de Zinc	1.75
Amarillo de cromo	3.76
Oxido de zinc	1.00
Caolín delaminado	12.06
Talco Malla 325	9.20
Mica micronizada	6.50
Antidecantante bentonítico	0.45
Secantes metálicos	1.20
Antipiel	0.90
Dispersante	0.25
Disolvente	18.23
<b>TOTAL</b>	<b><math>\Sigma</math> 100</b>

TABLA 2.

**ANÁLISIS DEL SISTEMA PIGMENTARIO DEL ANTICORROSIVO DE LA TABLA 1**

Componente	Densidad (g /mL)	OAI (g /100 gr)	x <sub>i</sub>
Cromato de Zinc	3,50	25	0,051
Amarillo de cromo	5,80	22	0,110
Oxido de zinc	3,99	22	0,029
Caolín delaminado	2,60	44	0,352
Talco Malla 325	2,72	30	0,268
Mica micronizada	2,90	65	0,190
<b>Total</b>			<b>Σ 1,000</b>

propiedades y el desempeño de cualquier recubrimiento pigmentado.

**EJEMPLO ILUSTRATIVO**

La formulación del anticorrosivo, se reporta en la página anterior (Tabla 1). Supongamos que una compañía de pinturas tiene la formulación de un anticorrosivo alquídico convencional que consideran de alto desempeño, y desean analizar su calidad y propiedades de desempeño a partir de la determinación del CPVC. Para validar el desempeño de la formulación de dicho anticorrosivo, sin recurrir a un trabajo experimental de laboratorio o en campo, utilizaremos el concepto del CPVC.

Así, para los cálculos del CPVC se tiene para la mezcla pigmentaria los datos que aparecen reflejados en la Tabla 2, siendo x<sub>i</sub>, la fracción en peso de cada uno de los pigmentos que forman el sistema pigmentario.

A partir de estos datos se puede calcular la densidad y el índice de absorción de aceite de la mezcla pigmentaria. En donde se tiene que:

$$\Rightarrow \rho_p = \left[ \frac{0,051}{3,50} + \frac{0,110}{5,80} + \frac{0,029}{3,99} + \frac{0,352}{2,60} + \frac{0,268}{2,72} + \frac{0,190}{2,90} \right]^{-1}$$

$\therefore \rho_p \approx 2,94 \text{ g/mL}$

análogamente, se obtiene que:

$$\therefore OAI_m \approx 35,44 \text{ gr/100gr}$$

Con estos valores, y suponiendo

que el sistema pigmentario del anticorrosivo se encuentra en un estado de "dispersión ideal", es decir, en la condición que el CPVC = UPVC; así, se tiene que:

$$\Rightarrow CPVC = UPVC = \left[ 1 + \frac{(35,44)(2,94)}{93,5} \right]^{-1}$$

$\therefore CPVC \approx 47,30\%$

A su vez, el PVC se puede calcular; asumiendo que la densidad de la resina alquídica sólida es 1.12 g/mL, en donde se tiene que:

$$\Rightarrow V_p = \left( \frac{1,75}{3,50} + \frac{3,76}{5,80} + \frac{1,00}{3,99} + \frac{12,06}{2,60} + \frac{9,20}{2,72} + \frac{6,50}{2,90} \right)$$

$\therefore V_p \approx 11,66$

Luego, el PVC viene dado por:

$$\Rightarrow PVC = \frac{11,66}{11,66 + \frac{(44,70)(0,50)}{1,12}}$$

$\therefore PVC \approx 36,88\%$

Adicionalmente, determinamos el parámetro Lambda (Λ):

$$\Lambda = \frac{PVC}{CPVC} = \frac{36,88}{47,30} \approx 0,78$$

De manera importante, en la literatura [10], se reporta que las imprimaciones anticorrosivas de mantenimiento se formulan en un rango de Lambda (Λ) de entre 0.75 a 0.90, para asegurar una óptima resistencia a la corrosión y a la formación de ampollas.

En el ejemplo de estudio se tiene que, el valor Lambda, está dentro del intervalo recomendado, por lo que el fabricante efectivamente ofrece, co-

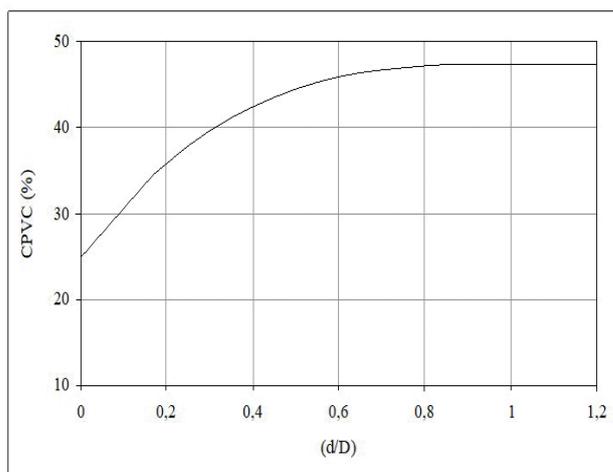
mercialmente, un anticorrosivo que es muy probable que tenga un alto desempeño anticorrosivo (si la dosificación del pigmento anticorrosivo es la adecuada), pero que, seguramente, presentará un costo relativamente alto, es decir, el fabricante podría analizar si mejora la relación costo/beneficio de su anticorrosivo, sin sacrificar apreciablemente sus propiedades de desempeño a través de "análisis de escritorio".

Si analizamos en detalle, vemos que, el valor de Λ de 0.78 del anticorrosivo, está muy cerca del límite inferior del intervalo, así que el formulador podría pensar en aumentar el nivel de cargas del sistema ("de manera segura"), hasta obtener un valor Lambda por debajo de 0.90 o cercano a 0.83 (la mitad del intervalo recomendado). Esto permitiría bajar los costos del producto, aumentar su poder cubriente, aumentar la densidad de la pintura, y podrían mejorarse, si se incrementan las cargas apropiadamente, sus propiedades de desempeño.

Finalmente, se puede construir una gráfica a partir de la ecuación (7), para que permita ver la variación del CPVC con el grado de dispersión del sistema pigmentario. Vemos este ejemplo en el grafico que se muestra en la página siguiente (Figura 1).

Obsérvese en la gráfica anterior que, a medida que aumenta el grado

**FIGURA 1.** Variación del CPVC con el grado de dispersión del sistema pigmentario, hasta alcanzar la condición del UPVC



de dispersión, aumenta el CPVC, hasta llegar al punto en donde se tiene la condición de "dispersión ideal" ( $d/D = 1$ ), en donde el  $CPVC = UPVC = 47.30\%$ , mientras que, si no se presentara dispersión ideal, el CPVC sería menor al valor de  $47.30\%$ .

## CONCLUSIONES

El PVC y el CPVC, muestran ser parámetros de formulación fundamentales a tener en cuenta cuando se formula cualquier recubrimiento pigmentado, pero ambos conceptos no deben analizarse independientemente el uno del otro: Por definición, el CPVC es el PVC crítico a partir del cual las propiedades del recubrimiento sufren un marcado cambio, por lo que, conocer sólo el PVC del recubrimiento sin conocer la ubicación del CPVC, no le permite al

formulador "conocer completamente el sistema"; análogamente, si conoce el CPVC sin conocer el PVC.

Por ello, se hace importante el análisis del PVC reducido ó parámetro Lambda ( $\Lambda$ ), factor entre el PVC y el CPVC, y su importancia se evidencia, considerando que la literatura reporta "valores óptimos" de Lambdas para diferentes tipos de recubrimientos pigmentados. El formulador de pinturas debe entonces conocer muy bien los valores óptimos de estas relaciones para formular recubrimientos que presenten excelentes relaciones costo/beneficio.

La determinación experimental del CPVC a nivel de laboratorio o en campo es un proceso laborioso y costoso. Por ello, el desarrollo de modelos matemáticos capaces de predecir el CPVC representan una alternativa

atractiva, ya que permiten una formulación más versátil y económica de los recubrimientos pigmentados. El soporte teórico en la literatura ha demostrado la alta precisión de estos modelos, lo que refuerza la confianza en los resultados obtenidos.

Es fundamental, durante la fabricación de las pinturas, lograr una excelente dispersión del sistema pigmentario, ya que el hecho de alcanzar la "dispersión ideal", en donde el  $CPVC = UPVC$  logra el máximo desarrollo posible del sistema pigmentario, hace que no se llegue a comprometer la calidad del recubrimiento y consiga maximizar su desempeño. Esta condición, por ende, optimiza la relación costo-beneficio de la formulación, ya que permite utilizar la menor cantidad de vehículo posible para obtener las propiedades deseadas.

Si bien este trabajo se centra en sistemas base disolvente, los conceptos presentados pueden extenderse a recubrimientos pigmentados base agua, considerando las diferencias inherentes a cada sistema.

## Bibliografía

- [1] a) Restrepo, J. A. "Cálculos predictivos del CPVC en pinturas base agua". Exposición presentada en el ANDINA PAINT: "Francisco Martínez", Medellín, 2005; b) Restrepo, J.A., "Una mirada técnica a la determinación teórica del CPVC en recubrimientos base disolvente". Revista RECubrimientos (Revista Argentina de pinturas y recubrimientos). No. 11, dic. 2006. págs. 7-14.
- [2] Bierwagen, G.P. "Critical pigment volume Concentration (CPVC) as a transition point in the properties of coatings". Jour. Coat. Tech., Vol. 64. No. 806 (1992).
- [3] Asbeck, W.K. y Van Loo, M. "Critical pigment volume relationship". Ind. Eng. Chem., Vol. 41. No. 7 (1949).
- [4] Bierwagen, G.P. y Rich, D.C. "The critical pigment volume concentration in latex coatings". Prog. Org. Coat., 11 (1983).
- [5] Asbeck, W.K. "A critical look at CPVC performance and applications properties". Jour. Coat. Tech., Vol. 64. No. 806 (1992).
- [6] Norma ASTM D 281-84: "Standard Test Method for oil Absorption of pigments by Spatula Rub-out"
- [7] Berardi, P. "Parameters affecting the CPVC of resins in aqueous dispersions". Paint technology, 27, 24, Julio (1963).
- [8] Asbeck, W.K. "Dispersion and agglomeration effects on coatings performance". Jour. Coat. Tech., Vol. 49. No. 635 (1977).
- [9] Patton, T.C. Paint flow and pigment dispersion. Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1979. Segunda edición.
- [10] Bierwagen, G.P. y Hay, T.K. "The reduced pigment volume concentration as an important parameter in interpreting and predicting the properties of organic coatings". Prog. Org. Coat. 3 (1975). 

» El formulador de pinturas debe entonces conocer muy bien los valores óptimos de estas relaciones para poder formular recubrimientos que presenten excelentes relaciones costo / beneficio