



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**



**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“TECNOLOGÍA DE SOLVENTES EN PINTURAS Y SU  
TENDENCIA EN EL MERCADO MEXICANO”**

**TRABAJO ESCRITO VÍA CURSOS DE EDUCACIÓN CONTINUA  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA**

**JOSÉ ANTONIO GRACIANO SAUCEDO**

**MÉXICO D.F.**

**2008**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** CARLOS GUZMAN DE LAS CASAS

**VOCAL:** JUAN GENESCA LLONGUERAS

**SECRETARIO:** MARINA ESTEVEZ GALLARDO

**1er. SUPLENTE:** FRANCISCO JAVIER RODRIGUEZ GOMEZ

**2do. SUPLENTE:** JORGE RAFAEL MARTINEZ PENICHE

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:** INSURGENTES SUR # 1605, PISO 23, COL. SAN JOSE INSURGENTES, C.P. 03900, MEXICO D.F.

**ASESOR:** MARINA ESTEVEZ GALLARDO



**SUSTENTANTE:** JOSE ANTONIO GRACIANO SAUCEDO



---

## GRACIAS

*A mis padres, por todo su amor y comprensión que me sirvieron como una de mis principales inspiraciones para poder concluir, a demás de ser mi principal ejemplo de trabajo.*

*A mis hermanos, por brindarme su ayuda siempre que la necesito y ayudarme a crecer cada día.*

*A mi tía Cristina, porque de muchas manera se puede manifestar apoyo y yo lo recibí de muchas maneras de su parte.*

*A todos los maestros que han contribuido en mi formación.*

*A mi asesora, por tener la nobleza de enseñarme y guiarme.*

*A Dios, por ir día a día con migo y haberme dado la fuerza necesaria para levantarme en aquellas caídas.*

## ÍNDICE

Capítulo 1. Introducción y Objetivo.....	1
Capitulo II. Definición de solvente. Porcentaje en volumen de..... solvente usado en la formulación de una pintura.	3
Capitulo III. Químicas de los Solventes.....	7
Tipos de Solventes	
Cicloalcanos; Terpenos; Arenos o Hidrocarburos Aromáticos; Alcoholes; Éteres; Aldehídos y Cetonas; Ácidos Carboxílicos; Ésteres; Aminas. Solventes por grupo funcional y sus características en la formulación de pinturas y revestimientos. Cetonas; Ésteres; Alcoholes; Ésteres de Glicol y sus Acetatos; Hidrocarburos Aromáticos; Conclusión de Capitulo	
Capitulo IV. Propiedades Físicas de los Solventes.....	17
Olor; Peso Específico; Densidad; Índice de Refracción; Densidad de Vapor; Evaporación; Velocidad de Evaporación Relativa; Higroscopia; Viscosidad. Conclusión del Capítulo	
Capitulo V. Fisicoquímica de los Solventes.....	24
Fuerzas Intermoleculares; Una Visión Molecular del Proceso de Disolución; Parámetro de Solubilidad; Enfoque Tridimensional de Parámetro de Solubilidad; Conclusión de Capítulo.	
Capitulo VI. Aspectos a Considerar en un Sistema de Solventes.....	32
Solvente Activo, Latente y Diluyente; Velocidad de Evaporación en el Secado; Reglas de Solubilidad; Conclusión del Capítulo; Imágenes de Defectos en Acabado de Película.	
Capitulo VII. Tendencia en consumo de solventes.....	44
Volúmenes de Solventes que se Emiten a la Atmósfera; Los VOC y Su normatividad Aplicada a la Formulación de Pinturas; MIR; La Reducción de VOC en recubrimientos; Nuevas t Tecnologías en el Desarrollo de Solventes; Conclusión de Capítulo.	
Conclusiones Generales	
Bibliografía	

## **CAPITULO I INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO**

Las pinturas están compuestas de una mezcla de cuatro componentes. En este trabajo nos enfocamos sólo a uno de ellos, a los SOLVENTES que se utilizan en la fabricación de recubrimientos.

En muchas fábricas de pinturas no se le da la importancia que debiera a este elemento de la formulación. Dependiendo del uso que se le da, se selecciona un tipo de resina que cumpla con las especificaciones del cliente y a esta, se le toma en cuenta como la parte más importante y, así es, sin embargo muy a menudo pasa que la película no tienen las características que se esperaban. En gran medida esas características que tiene el acabado final, mejor conocidas como defectos de película se deben a que los solventes que fueron escogidos no fueron los adecuados porque no se tomó en cuenta la actividad ni la velocidad de evaporación y otros aspectos en los que el formulador se puede apoyar para escoger los solventes idóneos para la resina. Es por eso que este trabajo incluye las variables que se sugiere considerar, de nos ser así, ilustra con fotografías los principales problemas derivados de un una mala selección.

En los últimos años, nuestro planeta se ha visto muy afectado como consecuencia del cambio climático producido por el calentamiento global producto de la emisión de gases de efecto invernadero. Es necesario considerar los aspectos normativos que rigen en nuestro país para poder manufacturar cuidando que no usemos materiales prohibidos o que sobrepasen los límites máximos permitidos por las normas ambientales correspondientes. De ahí, la importancia de conocer los principios de materiales que nos ayuden a cumplir con todos los requisitos y que marcarán la tendencia en el uso de solventes para pinturas en el mercado nacional.

### ***OBJETIVO***

*Conocer los aspectos más importantes de la tecnología de solventes que rigen en la formulación de una mezcla de ellos en la fabricación de pinturas tales como sus características físicas, químicas que repercuten en el acabado de una pintura, así como también aspectos normativos referidos al medio ambiente que marcan la tendencia en el uso de estos materiales.*

## **CAPITULO 11 DEFINICIÓN DE SOLVENTE Y EL PORCENTAJE EN VOLUMEN CONTENIDO EN LA FORMULACIÓN DE RECUBRIMIENTOS**

### *Solventes*

Son compuestos químicos orgánicos líquidos, incoloros, volátiles y de baja viscosidad, de olor muy característico, los cuales le imparten a la pintura la facilidad de flujo y aplicación.

Es importante mencionar que no existe un solvente universal para los recubrimientos protectores, de modo que su compatibilidad y dosificación es específica para el tipo de resina empleada.

*Las principales funciones de los solventes son:*

Diluir a la resina para obtener una solución homogénea del polímero.

Modificar la viscosidad de la pintura

Con sus propiedades de humectación y su polaridad, ayudan a obtener mejor adhesión a la superficie de la película de pintura

*De acuerdo a su naturaleza química, existen diferentes tipos de solventes:*

Naftas    Aromáticos

Cetonas

Esteres                                        Éteres

Alcoholes Agua



### **Porcentaje en volumen de solvente usado en la formulación de una pintura**

Del manejo de datos (fuente: Asociación Nacional de Fabricantes de Pinturas y Tintas; ANAFAPYT), los volúmenes de pintura base solvente manufacturados por año a partir de 1987 al 2007 contra los volúmenes de solvente necesarios para su fabricación, para el mismo periodo podemos establecer de manera muy general, el porcentaje en volumen que ocupa el solvente en la formulación de una pintura.

El manejo de datos se hizo de acuerdo a la clasificación de la ANAFAPYT, esta se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1

Clasificación por sector	Fracción de sólidos	Fracción de solventes
<b>A Doméstica</b>		
1) Emulsionada	-	-
2) Esmaltes	0.45	0.55
3) Aerosoles	0.8	0.20
4) En polvo	0.97	0.03
5) Otras Pinturas	0.5	0.5
<b>B Industrial</b>		
6) Mantenimiento industrial y marino	0.6	0.4
7) Automotriz Original	0.7	0.3
8) Electrodomésticos	0.43	0.57
9) Sanitarios	0.4	0.6
10) Litográficos	0.3	0.7
11) acabados para madera	0.35	0.65
12) Acabados p/ acab. Metálicas	0.55	0.45
13) Polvo Electrostático	0.91	0.09
14) Para rollos metálicos	0.5	0.5
15) Misceláneos	0.42	0.58
<b>C Repintado automotriz</b>		
16) Repintado automotriz	0.65	0.35
17) Disolventes		
<i>Totales de Repintado Automotriz</i>		
<b>D Otros</b>		
Pinturas para artes manuales	0.2	0.8
Disolventes y Adelgazantes	0	1
Envases Metálicos	0.5	0.5

En la tabla 2.2 se muestra la cantidad de pintura total manufacturada para cada año<sup>1</sup>, del año 1987 a 2007 con el respectivo volumen de solvente utilizado para su formulación.

**Nota: Como el análisis involucra solo a pinturas base solvente, la cantidad manufacturada de pinturas emulsionadas fue descartada.**

Tabla 2.2 CANTIDADES EXPRESADAS EN MILLONES DE LITROS

AÑO	Volumen	Volumen	Porcentaje
-----	---------	---------	------------

<sup>1</sup> Estadísticas ANAFAPYT, Estimación del Mercado Mexicano de Pinturas y Recubrimientos

	anual de Pintura base solvente	anual de Solvente	estimado de Solv. en la formula
1987	126.65	62.55	49.39
1988	130.7	64.19	49.11
1989	145	72.05	49.69
1990	153.13	77.02	50.29
1991	166.74	83.79	50.25
1992	172.07	85.86	49.90
1993	182.79	91.70	50.17
1994	179.36	88.74	49.47
1995	140.07	69.38	49.53
1996	163.06	81.27	49.84
1997	185.85	93.36	50.23
1998	193	96.60	50.05
1999	203.86	102.09	50.08
2000	226.55	114.10	50.36
2001	223.70	114.12	51.02
2002	223.98	113.92	50.86
2003	215.53	107.81	50.01
2004	213.37	106.73	50.01
2005	223.24	111.67	50.00
2006	245.20	122.65	50.02
2007	228.73	114.41	50.03

El contenido de solvente en la formulación de pinturas es muy parecido año con año. Existe una diferencia de 1.91 puntos porcentuales entre el valor máximo y mínimo por lo que podemos tomar el promedio del año 1987 al 2007 para hacer el estimado.

$$\text{Promedio} = (1050.35 / 21) = 50.02 \%$$

## CONCLUSIÓN DEL CAPITULO

***El porcentaje promedio de solvente, usado para la manufactura de pinturas y recubrimientos en el mercado nacional del año 1987 al 2007 es de 50.02 %***

## CAPITULO 111 QUÍMICA DE LOS SOLVENTES

### **Clasificación química de los solventes**

Las propiedades y comportamiento de los solventes dependen básicamente de su estructura molecular. Todos los solventes industriales son orgánicos, que, por definición, son compuestos de carbono e hidrogeno, a veces en combinación con átomos de otros elementos.

Los solventes de petróleo, solo contienen hidrocarburos, que se componen sólo de carbono e hidrogeno. Dependiendo de la disposición de estos átomos en la molécula, una hidrocarbonada puede ser una parafina, olefinas, nafténica o aromática. Los solventes de petróleo son generalmente mezclas de parafinas, de nafténicos, y de aromáticos. Las olefinas no se producen de manera natural en el petróleo, sino que se forman en el proceso de craqueo en las refinerías.

Existe una clasificación basada en la naturaleza química del solvente

#### Disolventes de Hidrocarburos de Petróleo

Los solventes más utilizados, son los obtenidos del petróleo. Estos son generalmente de dos tipos, alifáticos (parafínicos) y aromáticos.

También se encuentran los solventes oxigenados. Como su nombre lo indica, estos tienen en sus estructuras moleculares al oxígeno. Son muy importantes en la industria de las pinturas ya que estos pueden disolver algunas resinas que de otro modo no se podría con solventes de hidrocarburos. Los oxigenados tienen un comportamiento más polar que el de los hidrocarburos.

Por otro lado tenemos a los Terpenos. Los terpenos más simples son los componentes principales de los aceites esenciales de volátiles obtenidos del zumo y de los tejidos de

ciertas plantas y árboles. Los monoterpenos que se extraen de los pinos se han venido utilizando como disolventes para pinturas<sup>1</sup>.

De acuerdo a sus características y comportamiento químico, los solventes se diferencian de acuerdo al grupo funcional de la molécula. Un grupo funcional es un grupo de átomos responsables del comportamiento químico de la molécula que lo contiene. Moléculas diferentes que contienen la misma clase de grupo o grupos funcionales reaccionan de una forma semejante<sup>2</sup>.

Algunos grupos funcionales se dan a continuación.

*Cicloalcanos.* Los alcanos cuyos átomos de carbono se unen en anillos se conocen como cicloalcanos.

*Terpenos.* Existe una familia especial de compuestos con la fórmula general  $(C_5H_8)_n$  donde  $n=2$  o más, estos compuestos están constituidos por dos o más moléculas de isopropeno.

*Arenos o Hidrocarburos aromáticos.* El benceno es compuesto base de esta gran familia de sustancias orgánicas. Su estructura es la llave de las propiedades típicas de estos compuestos. La fórmula molecular es  $C_6H_6$  y los átomos de carbono forman un anillo

*Alcoholes.* Si imaginamos un hidrocarburo alifático, en el que se ha quitado un átomo de hidrógeno poniendo en su lugar un grupo  $-O-H$  tenemos un alcohol, el oxígeno está unido al carbono por medio de un enlace covalente, al grupo se le llama hidroxilo, y así puede haber una cadena larga de carbonos con un número  $n$  de sustituciones de  $H$  por  $-OH$  para dar origen a diferentes alcoholes.

*Éteres.* Podemos pensar en ellos como alcoholes donde el átomo de hidrógeno del grupo hidroxilo ha sido remplazado. Estos contienen el enlace  $R-O-R'$  donde  $R$  y  $R'$  son

---

<sup>1</sup> Solvents, William H. Ellis, Federation Series on Coatings Technology, 1989

<sup>2</sup> Química, Raymond Chang, Sexta edición 1999, McGraw-

grupos hidrocarbonados (alifáticos o aromáticos). Se pueden formar por la reacción entre dos alcoholes

*Aldehídos y Cetonas.* El grupo funcional en estos compuestos es el grupo carbonilo. En un aldehído hay por lo menos un átomo de hidrógeno unido al carbón del grupo carbonilo. En una cetona el átomo de carbono del grupo carbonilo está unido a dos grupos hidrocarbonados. Los aldehídos son productos intermedios en la oxidación de alcoholes primarios mientras que las cetonas son productos de la oxidación de alcoholes secundarios.

*Ácidos Carboxílicos.* En condiciones apropiadas tanto los alcoholes como los aldehídos se pueden oxidar hasta ácidos carboxílicos, ácidos que contienen el grupo carboxilo, -COOH.

*Ésteres.* La gama completa de ácidos y alcoholes puede reaccionar para producir una enorme cantidad de ésteres. Estos se encuentran presentes en un gran número de esencias y perfumes. En estos compuestos el nombre deriva en primer lugar del alcohol, y después del ácido, con la terminación ato.

*Aminas.* Son compuestos que contienen carbono, hidrógeno y nitrógeno. Las aminas derivan del amoniacó, es posible encontrar formas primarias, secundarias y terciarias dependiendo del número de sustituciones. La tabla 4.1 muestra algunos de los principales grupos funcionales<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> \_ Introduction to Paint Chemistry, And Principles of Paint Technology, J. Bentley and G.P.A. Turner, Fourth Edition, Edit. Chapman and Hall.

Tabla 4.1 Principales grupos funcionales

Grupo funcional	Tipo de compuesto	Fórmula del Compuesto
<u>Grupo alquilo</u>	<u>Alcano</u>	R, R-R
<u>Grupo alqueno</u>	<u>Alqueno</u>	R=R
<u>Grupo alquino</u>	<u>Alquino</u>	R≡R
<u>Grupo amino</u>	<u>Amina</u>	R <sub>2</sub> -NH, R <sub>3</sub> -N, RNH <sub>2</sub>
<u>Grupo hidroxilo</u>	<u>Alcohol</u>	R-OH
<u>Grupo alcoxi</u>	<u>Éter</u>	R-O-R'
	<u>Aldehído</u>	R-C(=O)H
	<u>Cetona</u>	R-C(=O)-R'
<u>Grupo carboxilo</u>	<u>Ácido carboxílico</u>	-COOH
<u>Grupo alcoxycarbonilo</u>	<u>Éster</u>	R-COO-R'
<u>Grupo haluro</u>	<u>Haluro</u>	R-X

### Solventes por grupo funcional y sus características en la formulación de pinturas y revestimientos<sup>4</sup>.

*Cetonas.* Las cetonas se utilizan como solventes para una gran variedad de resinas. Su costo, sin embargo, por lo general lo hace más práctico para utilizarlos en combinación con solventes menos costosos como hidrocarburos y alcoholes. Las cetonas se utilizan para disolver nitrocelulosa, acetato butirato de celulosa, vinilos, acrílicos, epóxicos, y uretanos.

<sup>4</sup> Paints, Coating and Solvents, Dieter Stoye, Warner Freitag (Editors), Second, completely Revised edition 1998, Edit. Wiley-VCH.

La dimetil cetona o acetona, es la más baja de peso molecular, es el solvente más volátil de la serie homóloga de cetonas. Es un disolvente activo y se utiliza ampliamente en lacas nitrocelulósicas y acrílico. El efecto de enfriamiento de la rápida evaporación de solventes, causas la condensación de la humedad en la superficie, lo que genera defectos en el acabado como velo o lechosidad.

Solventes de este tipo tenemos al: Acetona; metil etil cetona; metil n-propil cetona; metil isobutil cetona; metil isoamil cetona; metil n-amil cetona; di-isobutil cetona; ciclohexanona.

*Ésteres.* Los ésteres son utilizados como solventes en casi todos los acetatos. Son buenos disolventes para una variedad de resinas incluidas las celulósicas, acrílicos, y vinilos. Su poder de disolvencia tiende a seguir un patrón general, este disminuye con el aumento de peso molecular y con una mayor ramificación de la molécula. La evaporación también disminuye con el aumento de peso molecular, pero se incrementa con el aumento de ramificación. El acetato de n-butilo es el más importante éster utilizado como disolvente. Es de mediana velocidad de evaporación, de hecho, es la referencia para expresar lo que llamamos **velocidad de evaporación relativa** de otros compuestos. Este concepto en realidad está mal empleado debido a que es una mala traducción del inglés al español. Sin embargo en la literatura comúnmente lo encontramos, por lo que en este trabajo se utiliza.

Solventes de este tipo tenemos al: Acetato de Metilo; Acetato de Etilo; Acetato isopropilo; Acetato n-propilo; Acetato isobutilo; Acetato n-butilo; Acetato n-amil.



*Alcoholes.* Una serie de alcoholes se utilizan como solventes **latentes**. Esto es posible porque una variedad de estructuras isoméricas se hace posible cuando el alcohol tiene cuatro o más átomos de carbono.

Solventes de este tipo tenemos al: Alcohol metílico; Alcohol etílico; Alcohol isopropílico; Alcohol n.propílico; Alcohol isobutílico; Alcohol n-butílico; Alcohol amílico.

*Éteres de glicol y sus Acetatos.* Los éteres de glicol y sus acetatos se utilizan comúnmente en pequeños porcentajes en diluyentes de laca para mantener el flujo después de que la mayoría de los solventes se ha evaporado. También son utilizados para sustituir a los aromáticos en zonas geográficas donde el porcentaje de aromáticos se limita por las leyes debido a la contaminación del aire. Ellos son ampliamente utilizados en recubrimientos base agua. Estos solventes pueden disolver una amplia gama de resinas, incluyendo alquídicas, aceites, resinas naturales, acrílicas, nitrocelulosa, etilcelulosa, poliestireno, copolímeros de acetato de polivinilo y el cloruro de vinilo, así como algunas resinas poliéster y fenólicas.

Solventes de este tipo tenemos al: Etilén glicol monometil éter; acetato de Etilén glicol monometil éter; Etilén glicol monoetil éter; Etilén glicol monometil éter acetato; Etilén glicol monobutil éter; Etilén glicol monobutil éter acetato; Etilén glicol monometil éter; Etilén glicol monometil éter acetato.

*Hidrocarburos aromáticos.* Los solventes aromáticos son más activos que los disolventes alifáticos, disuelven algunas resinas que son insolubles en solventes alifáticos, así como también disuelven una gran variedad de resinas. Hay sólo cuatro solventes aromáticos de uso común en la industria de revestimientos. Por supuesto,

estos cuatro disolventes aromáticos son a veces mezclados unos con otros para ajustar la velocidad de evaporación.

Tolueno (metilbenzeno). El tolueno se usa como diluyente de laca, pinturas aplicadas por aspersión, en los aerosoles, y en una variedad de recubrimientos industriales.

Xileno es una mezcla de los tres posibles isómeros de xileno; meta, para, y orto más etilbenceno. Estos son los cuatro compuestos aromáticos con ocho átomos de carbono.

Las variaciones en la proporción de los cuatro compuestos causará mensurables, pero generalmente insignificantes, las diferencias en las propiedades y, en ocasiones, el rendimiento. El xileno se utiliza casi exclusivamente en la industria de revestimientos.

Es similar en el rendimiento de tolueno, pero tiene una velocidad de evaporación relativa muy bajo (0.7, respecto al n-butil acetato).

Las naftas aromáticas de Media y alta velocidad de evaporación, son mezclas de isómeros aromáticos que contienen nueve y diez átomos de carbono, respectivamente.

Ellos también, se usan principalmente en recubrimientos industriales. Su velocidad de evaporación relativa disminuye cuando su punto de ebullición aumenta. También el poder de disolvencia de los solventes aromáticos disminuye ligeramente cuando el número de átomos de carbono en la molécula aumenta.

## **Propiedades químicas de los solventes**

### **Inflamabilidad**

En íntima relación con la volatilidad, existe otra característica de gran importancia que es su inflamabilidad. Los peligros de incendio o de explosión en el empleo y manejo de estas sustancias, hacen que el estudio de esta propiedad signifique muchas veces la seguridad personal de los obreros. En general es evidente que los solventes orgánicos inflamables son tanto más peligrosos, desde el punto de vista de su inflamabilidad. Los

líquidos inflamables no solubles en el agua presentan, además, el grave inconveniente de que el agua lanzada sobre ellos en caso de incendio no impida su propagación. Cuando se un disolvente orgánico en un recipiente y se acerca una llama a su superficie, se comprueba que no siempre los vapores se inflaman; pero si se va aumentando la temperatura del recipiente y se repite el acercamiento de la llama, llega un momento en que se produce una pequeña explosión. La temperatura del solvente a la cual dicha microexplosión tiene lugar es lo que se llama *punto de inflamación*.

### **Explosividad**

Los disolventes orgánicos en general, además de los peligros de incendio, pueden ser causa de peligrosas explosiones. Cuando los vapores de un líquido volátil inflamable se diluyen en un cierto volumen de aire, existe un intervalo de concentración de estos vapores, en el cual una llama, una chispa eléctrica o cualquier elevación térmica es capaz de provocar una explosión. A partir del límite inferior de explosividad, y cuando la concentración en vapores inflamables de la mezcla va aumentando, se observa paralelamente un aumento en la violencia de la explosión, hasta llegar a un máximo que corresponde a la combustión perfecta del compuesto orgánico en el aire.

### **Autoinflamación**

No siempre es preciso para inflamar o explosionar una mezcla gaseosa la presencia de una llama o una chispa eléctrica; basta con que la mezcla se eleve a una temperatura suficiente para que espontáneamente se inicie la combustión. En este fenómeno que se llama autoinflamación, tiene gran importancia la naturaleza del cuerpo, puesto en contacto con la mezcla explosiva; el vidrio, generalmente posee un poder de inflamación superior al de los metales. Existen solventes como el éter ordinario o aún más el sulfuro de carbono, cuya temperatura de autoinflamación es de 150°C, lo cual explica la facilidad de los incendios en algunas fábricas.

## **Toxicidad**

Los disolventes orgánicos son sustancias que a temperatura ambiente se encuentran en estado líquido y pueden desprender vapores, por lo que la vía de intoxicación más frecuente es la inhalatoria, aunque también se puede producir por vía digestiva y cutánea

Todos los disolventes orgánicos son tóxicos, aunque su toxicidad varía de unos productos a otros. Los vapores que desprenden son más pesados que el aire, por lo que su mayor concentración estará cerca del suelo. Estos vapores son rápidamente absorbidos a través de los pulmones, cruzan con gran facilidad las membranas celulares, y, debido a su gran solubilidad en grasas, alcanzan concentraciones altas en el organismo. Los solventes producen efectos subjetivos que pueden ser similares a los de la marihuana, aunque las alucinaciones visuales son más intensas. También producen otros síntomas como euforia, excitación y sentimiento de omnipotencia, acompañados de visión borrosa, zumbidos de oídos, alteraciones del lenguaje, dolor de cabeza, dolor abdominal, dolor torácico o broncoespasmo.

## **CONCLUSIÓN DEL CAPITULO**

*Una alta estabilidad química es un importante requisito previo para la utilización de un líquido como solvente. Hidrocarburos aromáticos y alifáticos son químicamente inertes y por tanto satisfacen este requerimiento muy bien.*

*Los alcoholes también son químicamente muy estables, pero reaccionan con los metales alcalinos formando las sales correspondientes. Bajo ciertas condiciones, los alcoholes se pueden convertir en ácidos carboxílicos por poderosos agentes oxidantes.*

*Los esteres y las cetonas son muy estables químicamente bajo condiciones normales especialmente en la industria de las pinturas, sin embargo los esteres pueden ser hidrolizados para formar alcoholes y ácidos.*

## CAPITULO IV PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SOLVENTES

*Olor*<sup>1</sup>. Aunque esta característica de los solventes orgánicos puede parecer a primera vista como de un valor secundario, la experiencia industrial ha demostrado que los disolventes que poseen olores fuertes o muy desagradables tienen un consumo mucho menor en la industria que aquellos que están desprovistos de olor o que éste es débil.

*Peso específico*. En la práctica industrial frecuentemente se confunden los conceptos de peso específico y densidad de un solvente; pero dicha confusión no tiene gran valor técnico y, frecuentemente, en las tablas y características de estos compuestos, solamente se indica el peso específico, o sea, el cociente del peso de un cierto volumen del líquido en examen, comparado con el peso específico del agua destilada en las mismas condiciones de temperatura y presión (4° y 760mm).

*Densidad*<sup>2</sup>. La densidad de un solvente es una característica muy importante del mismo; es la relación de la masa de una sustancia contenida en un cierto volumen, muchas veces este valor se utiliza como control de su pureza, ya que además la densidad de un solvente es generalmente medida a 20° C y referida a la densidad del agua a 4°C. (densidad relativa  $d_4^{20}$ ). La densidad es una propiedad intensiva de la materia, además de La densidad de la mayoría de los disolventes orgánicos disminuye cuando incrementamos la temperatura, son más ligeros que el agua, por el contrario los hidrocarburos halogenados son más densos. La densidad relativa ( $d_4^{20}$ ) de ésteres y glicoles decrece con el incremento de la masa molecular, mientras que la densidad de las cetonas y alcoholes se incrementa. Hoy en día se usan algunos solventes de densidad relativamente baja para disminuir los Compuestos Orgánicos Volátiles que se emiten a la atmósfera.

---

1 Introduction to Paint Chemistry, And Principles of Paint Technology, J. Bentley and G.P.A. Turner, Fourth Edition, Edit. Chapman and Hall.

2 Introduction to Paint Chemistry, And Principles of Paint Technology, J. Bentley and G.P.A. Turner, Fourth Edition, Edit. Chapman and Hall.

*Índice de refracción*<sup>3</sup>. El índice de refracción se mide en un refractómetro con una lámpara de vapor de sodio. El valor del índice de refracción es determinada en gran parte por el esqueleto de hidrocarburos de la sustancia en cuestión. Ésteres alifáticos, cetonas, alcoholes tienen índices de refracción entre 1,32 y 1,42. En la serie homóloga, los índices de refracción aumentan con el aumento de longitud de la cadena de carbono, y disminuye al aumentar la ramificación. En estructuras cicloalifáticas y aromáticas, al aumentar el índice de refracción significa que tenemos mayor cantidad de grupos funcionales.

La medida del índice de refracción de un solvente orgánico constituye un método muy sensible de control de su pureza, ya que bastan pequeñas cantidades de productos extraños como impurezas para modificar significativamente dicha constante. El índice de refracción varía con la temperatura por lo que se precisa operar siempre a las temperaturas especificadas en las tablas.

*Densidad de vapor*<sup>4</sup>. La densidad de vapor de un solvente orgánico puede calcularse conociendo su peso molecular; la molécula de todo cuerpo orgánico transformado en vapor, a la presión de 760 mm de Hg y a la temperatura de 0 °C, ocupa siempre el mismo volumen: 22.4 L; la densidad de vapor con respecto al aire se deduce de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$D = \text{Peso molecular} / (22.42 * 1.293) = \text{P.M.} / 29.08$$

*Evaporación*<sup>5</sup>. Los solventes pueden ser clasificados por su punto de ebullición de acuerdo a los siguientes rangos:

---

<sup>3</sup> Handbook of solvents, George Wypich Editor, Chemtec Publishing, William Andrew Publishing, Toronto-New York 2001.

<sup>4</sup> Handbook of solvents, George Wypich Editor, Chemtec Publishing, William Andrew Publishing, Toronto-New York 2001.

<sup>5</sup> Paints, Coating and Solvents, Dieter Stoye, Warner Freitag (Editors), Second, completely Revised edition 1998, Edit. Wiley-VCH.

Baja ebullición:  $p_e < 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Media ebullición:  $p_e 100\text{-}150 \text{ }^\circ\text{C}$

Alta ebullición:  $p_e > 150 \text{ }^\circ\text{C}$

El punto de ebullición de los líquidos está definido como la temperatura a la cual la presión de vapor de los líquidos llega a 101.3 KPa. La energía térmica para la evaporación es consumida de los alrededores, de esta manera el entorno más cercano se enfría.

En sectores como pinturas y adhesivos, los solventes con la característica de que su volatilidad se encuentre por debajo de su punto de ebullición, es muy importante. Por debajo del punto de ebullición, el líquido se encuentra en equilibrio con su vapor es decir  $p_{\text{sis}} < 101.3 \text{ KPa}$ , las curvas de presión de vapor son obtenidas usando la ecuación de Clausius-Clapeyron que en su forma integrada es:

$$\ln p_s = A - (\Delta H_v/RT)$$

Donde A es una constante general característica de una sustancia y que se puede obtener de la literatura,  $\Delta H_v$  es la entalpía molar de vaporización, R es la constante universal de los gases y T es la temperatura absoluta. De esta ecuación podemos decir que a mayor temperatura, mayor será la presión de vapor del solvente en cuestión, por otro lado tenemos que la entalpía de vaporización aumenta con el aumento de la temperatura. De esta manera obtenemos la expresión

$\Delta H_v/T_s = \text{constante}$  donde  $T_s$  es el punto de ebullición absoluto.

**Generalmente no hay correlación entre la velocidad de evaporación y los puntos de ebullición de los disolventes.** En general, en los disolventes, la volatilidad disminuye al aumentar el punto de ebullición. Los disolventes que tienden a formar puentes de hidrógeno son menos volátiles que otros solventes con el mismo punto de ebullición, ya



que se tiene que proporcionar energía suficiente para romper los puentes de hidrógeno antes de que ocurra la transición al estado de vapor.

#### *Velocidad de evaporación relativa.*

La velocidad de evaporización depende de:

La presión de vapor a la temperatura de procesamiento; calor específico; entalpía de vaporización; tipo de interacciones moleculares; grado de suministro de vapor; tensión superficial; masa molar del solvente; condiciones atmosféricas como la humedad.

Dado que todos estos factores dependen de los demás, es imposible dar una predicción teórica de la velocidad de evaporación. En la práctica, el tiempo de evaporación de una determinada cantidad de solvente se determina experimentalmente en condiciones iguales y en comparación con la de éter di-etílico. En algunos países se hace la comparación con la del acetato de butilo por lo que no debemos extrañarnos al encontrar reportada en la literatura la velocidad de evaporación relativa con respecto a cualquiera de los dos solventes estándar.

Entonces la velocidad de evaporación relativa queda:

$$E (\text{dietil eter}) = t (\text{prueba de disolvente}) / t (\text{éter di-etílico})$$

t = tiempo de evaporación de la sustancia en cuestión o tiempo de evaporación del éter

di-etílico en segundos.

$$E (\text{acetate de butilo}) = t_{go} (\text{acetato de butilo}) / t_{go} (\text{solvente prueba})$$

$t_{go}$  = en tiempo, en donde el 90% de un mililitro de de acetato de butilo o solvente se evapora en un determinado tipo de aparato bajo condiciones estrictamente controladas.

El tiempo en que se evapora el 90 % de un mililitro de éter di-etílico es de 34 s, mientras que la misma cantidad de acetato de n-butilo se evapora en 468 s

Los resultados son denominados **velocidad de evaporación relativa** y cuando son referidos al dietil éter los solventes pueden ser subdivididos en los siguientes cuatro grupos:

- 1) Alta Volatilidad: <10
- 2) Moderado Volatilidad: 10-35
- 3) Baja Volatilidad: 35-50
- 4) Muy baja Volatilidad:> 50

Si una sustancia con un peso molecular relativamente alto es disuelto en un solvente, su velocidad de evaporación relativa decrecerá. La inestabilidad de un disolvente en una película depende de la diferencia entre los parámetros de solubilidad del solvente y la resina pero este tema será tratado más adelante, en el capítulo VI y VII, así como otros aspectos de suma importancia de los que también depende el acabado de una película.

Los disolventes no sólo deben evaporarse rápidamente después de la aplicación de una película de pintura, también debe promover la formación de un recubrimiento de la siguiente manera, deberá de:

- Prevenir el "BLUSHING" o lechosidad o también conocido como Velo en el proceso de sacado, evitando la absorción de vapor de agua condensada de la atmósfera que se forma como resultado del enfriamiento debido a la evaporación de solventes.
- Controlar el flujo de la pintura y la nivelación de la misma cuando esta se ha aplicado.
- Prevenir precipitados y la turbidez.
- Prevenir el encogimiento.

Una formulación de pintura, siempre contiene varios solventes: de baja velocidad de evaporación, de media velocidad de evaporación, y una pequeña proporción de las de

alta velocidad de evaporación. La presión de vapor de cada uno de los solventes en la mezcla es descrita por la ley de Raoult.

$$p_i = f_i \cdot x_i \cdot p_i^o$$

Donde  $p_i$  es la presión parcial del componente  $i$ ,  $x_i$  es la fracción mol del componente  $i$ , y  $p_i^o$  es la presión de vapor del componente puro. El coeficiente de actividad  $f_i$  que puede ser mayor o menor que 1, considera el comportamiento real de los solventes.

La velocidad de evaporación de los solventes no es lineal y por lo tanto es difícil de pronosticar la velocidad de evaporación de una mezcla de ellos. Debido a este problema, se han creado **simuladores** que puedan describir de la manera más cercana a la realidad posible, el comportamiento en la velocidad de evaporación de un solvente, o de una mezcla de ellos. Un simulador es un programa de computo creado a partir de los principios físicos, químicos, matemáticos etc., dependiendo el caso, el cual contiene la mayor cantidad de variables que describen el comportamiento del fenómeno y de esta manera poder hacer predicciones de sistemas bajo distintas condiciones.

*Higroscopía.* Algunos solventes, particularmente los que contienen grupos hidroxilo (por ejemplo los alcoholes y glicol éteres) son higroscópicos: absorben humedad de la atmósfera hasta que llegan al equilibrio. El equilibrio de contenido de agua en el solvente dependerá de la humedad relativa en la atmósfera y de la temperatura.

*Viscosidad.* La viscosidad es una propiedad característica de los líquidos que indica la energía de fricción y resistencia interna de sus moléculas para oponerse a las deformaciones. En los solventes más usuales el papel de la viscosidad no desempeña, en general gran importancia, pues casi siempre se trata de líquidos poco viscosos.

La viscosidad de una serie de solvente homólogos crece con el aumento de la masa molecular. **Los Solventes que tienen grupos hidroxilos tienen una mayor viscosidad debido a la formación de puentes de hidrógeno.** La viscosidad del solvente disminuye al aumentar la temperatura. El poder disolvente puede también apreciarse por la viscosidad de las soluciones. Para un mismo producto e igual concentración, será el disolvente más activo aquel que produzca un líquido de viscosidad mínima. Un fenómeno que se observa en los solventes y más en las disoluciones es el de la disminución de su viscosidad con el tiempo durante el almacenaje; para algunos, este fenómeno se explica por absorción de pequeñas cantidades de humedad atmosférica; otros lo atribuyen a una verdadera actividad del solvente; pero estos hecho más que el caso de los solventes se refieren a los productos manufacturados, lacas, barnices, etc.

#### RESUMEN DEL CAPITULO

*Una de las propiedades físicas más importante de los solventes es la velocidad de evaporación, de ella dependerá en gran medida el acabado final de la película como: brillo, textura y vida útil; por ello es necesario darle el verdadero peso específico que merece a esta propiedad para no desperdiciar el costo de la formulación.*

## CAPITULO V FISICOQUÍMICA DE LOS SOLVENTES

### Fuerzas intermoleculares

Las **fuerzas intermoleculares**<sup>1</sup> son fuerzas de atracción entre las moléculas, estas fuerzas son las responsables del comportamiento no ideal de los gases. Ejercen aún más influencia en las fases condensadas de la materia, es decir, en los líquidos y en los sólidos, a medida que baja la temperatura de un gas, también disminuye la energía cinética de las moléculas. Las fuerzas intramoleculares estabilizan a las moléculas individuales en tanto que las fuerzas intermoleculares son las principales responsables de las propiedades macroscópicas de la materia (por ejemplo punto de fusión y punto de ebullición entre otras). En general las fuerzas intermoleculares son más débiles que las intramoleculares. Por eso se necesita menos energía para evaporar un líquido que para romper los enlaces de sus moléculas.

Para comprender las propiedades de la materia condensada es necesario entender los diferentes tipos de fuerzas *dipolo-dipolo*, *dipolo-dipolo inducido* y las *fuerzas de dispersión*, estas integran lo que se le denomina **fuerzas de van der Waals**. Los iones y los dipolos se atraen entre sí mediante fuerzas electrostáticas conocidas como fuerzas ion-dipolo que no son fuerzas de van der Waals. El puente de hidrógeno es un tipo de interacción dipolo-dipolo particularmente fuerte.

Las **fuerzas dipolo-dipolo** son fuerzas de atracción que actúan entre moléculas polares, es decir entre moléculas que poseen momentos dipolo. Su origen es electrostático y se puede entender en función de la ley de Coulomb. A mayor momento bipolar, mayor será la fuerza.

---

<sup>1</sup> Química, Raymond Chang, Sexta edición 1999, McGraw

La ley de Coulomb también explica las **fuerzas ión-dipolo**, las cuales atraen entre sí un ión y una molécula polar. La intensidad de esta depende de la carga y del tamaño del ión, así como de la magnitud del momento dipolar.

¿Que interacción de atracción se forma entre las sustancias no polares? Si se coloca un ión o una molécula polar cerca de un átomo (o una molécula polar), la distribución electrónica del átomo o molécula se distorsionará por la fuerza que ejerce el ión o la molécula polar lo que ocasiona una clase de dipolo. Se dice que el dipolo del átomo o molécula no polar es un dipolo inducido, por lo que a este tipo de interacciones se le conoce como *dipolo-dipolo inducido*. Este es un tipo de fuerza conocido como **fuerza de dispersión** y a temperaturas muy bajas, son capaces de hacer que un gas se vuelva líquido.

El **punte de hidrógeno** es un tipo especial de interacción dipolo-dipolo entre el átomo de hidrógeno de un enlace polar, como N-H, O-H o F-H

y un átomo electronegativo de O, N o F debido a que estos tres poseen un par de electrones libres que pueden interaccionar con el átomo de H para formar los puentes..

En la figura 6.1 se observan algunas de las interacciones intermoleculares.

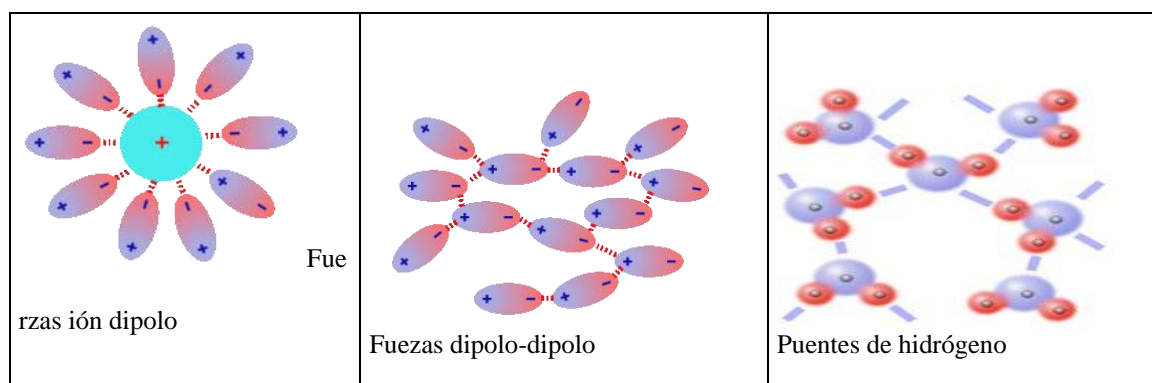


Fig. 6.1

### Una visión molecular del proceso de disolución

Las atracciones intermoleculares que mantienen juntas a las moléculas en líquidos y sólidos también tienen un papel importante en la formación de las disoluciones. Cuando una sustancia (soluta) se disuelve en otra (solvente), las partículas del soluto se dispersan en el solvente. Las partículas del soluto ocupan posiciones que estaban ocupadas por moléculas del solvente y la facilidad con la que una partícula de soluto sustituye a una molécula de solvente depende de la fuerza relativa de tres tipos de interacciones:

- 1 Interacción solvente-solvente
- 2 Interacción soluto-soluto
- 3 Interacción solvente-soluto

Por simplificación se puede imaginar que el proceso de disolución se lleva a cabo en tres etapas. La etapa uno es la separación de las moléculas del solvente y la etapa 2 incluye la separación de las moléculas de soluto. Estas etapas requieren energía para romper las fuerzas intermoleculares de atracción; como consecuencia, son endotérmicas. En la etapa 3 se mezclan las moléculas del solvente y del soluto. Este proceso puede ser exotérmico o endotérmico.

El calor de disolución  $\Delta H_{\text{disolución}}$  está dado por

$$\Delta H_{\text{disolución}} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

Si la atracción soluto-solvente es mayor que la atracción solvente-solvente y que la atracción soluto-soluto, el proceso de disolución será favorable, o exotérmico cuando la

( $\Delta H_{\text{disolución}} < 0$ ). Si la atracción soluto-solvente es más débil que las interacciones

solvente-solvente y soluto-soluto, el proceso de disolución será endotérmico

( $\Delta H_{\text{disolución}} > 0$ ). Es sorprendente por que un soluto puede disolverse en un solvente si la atracción entre sus propias moléculas es más fuerte que la atracción soluto-disolvente.

**El proceso de disolución, al igual que todos los procesos físicos y químicos, está regido por dos factores.** Uno es el factor energético, que determina si un proceso de disolución es endotérmico o exotérmico. El segundo se refiere a la tendencia hacia el desorden inherente a todos los procesos naturales. Lo mismo que las cartas de una baraja se mezclan al barajarse, cuando se mezclan las moléculas de soluto y de disolvente para formar una disolución hay un incremento de aleatoriedad o desorden. En estado puro, el disolvente y el soluto poseen cierto grado de desorden, que se caracteriza por la disposición más o menos regular de átomos, moléculas o iones en el espacio tridimensional. Gran parte de este desorden se destruye cuando el soluto se disuelve en el solvente. Por lo tanto el proceso de disolución lo acompaña un aumento del desorden. Es este aumento en el desorden del sistema lo que favorece la solubilidad de una sustancia, incluso si el proceso de disolución es endotérmico.

### **Parámetros de solubilidad**

La termodinámica entre los componentes de una solución es importante para la estimación cuantitativa de la solubilidad. El concepto de parámetros de solubilidad se basa en la entalpía de la interacción entre la resina y el solvente. El parámetro de solubilidad es la raíz cuadrada de la densidad de energía de cohesión<sup>2</sup>.

$$\delta = (\text{CED})^{1/2} = [\Delta E_i/V_i]^{1/2}$$

Donde

---

<sup>2</sup> Handbook of solvents, George Wypich Editor, Chemtec Publishing, William Andrew Publishing, Toronto-New York 2001.



$\Delta E_i$  es la energía de cohesión

$V_i$  es el volumen molar

Este parámetro tiene unidades en  $(\text{MJ}/\text{m}^3)^{1/2}$  o en  $(\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ , donde  $1 (\text{MJ}/\text{m}^3)^{1/2}$  es igual a  $2.054 (\text{cal}/\text{cm}^3)^{1/2}$ . La energía de cohesión es igual en magnitud y de signo contrario a la energía potencial de una unidad de volumen de un líquido. La energía molar de cohesión es la energía asociada a todas las interacciones moleculares en una mol de los materiales.

**$\delta$** , es el símbolo que se usa para representar el parámetro de interacciones intermoleculares de un líquido. El objetivo de muchos estudios era encontrar la relación entre la energía de la mezcla de líquidos y sus  $\delta$ . El primer intento se hizo por Hildebrand y Scatchard. Quienes propusieron la teoría de las disoluciones regulares y la ecuación que sirve para calcular la energía libre de la mezcla.

Su teoría no se justifica en la presencia de la interacción dipolo-dipolo y otras más específicas de las interacciones como el puente de hidrógeno. Por lo tanto, la teoría de soluciones regulares se adapta mal a la descripción del comportamiento de las soluciones de sustancias polares. Sus estudios fueron de gran importancia, aunque seguían siendo limitados.

Burrell en 1955 en USA sugirió que hay dos parámetros que definen la solubilidad de cada líquido<sup>3</sup>. El primero es la capacidad de enlaces de hidrógeno de cada líquido, para ello clasificó los solventes de pinturas en tres grupos:

1. Líquidos con enlaces de hidrógeno débiles (hidrocarburos, cloro y nitroparafinas).

---

<sup>3</sup> Introduction to Paint Chemistry, And Principles of Paint Technology, J. Bentley and G.P.A. Turner, Fourth Edition, Edit. Chapman and Hall

2. Líquidos con enlaces de hidrógeno moderados (cetonas, ésteres, éteres y éter-alcoholes)
3. Líquidos con enlaces de hidrógeno fuertes (alcoholes y agua).

Para cada solvente se calcula un segundo parámetro a partir del calor latente de evaporación. Empleando las ecuaciones termodinámicas; el valor numérico de este parámetro es una medida de las fuerzas de atracción entre las moléculas del líquido y a esto se le conoce como **Parámetro de solubilidad**.

El sencillo concepto inicial de Burrell que acabamos de ver, es aún muy útil para el fabricante de pinturas, y ha sido mejorado por otros.

### **Enfoque Tridimensional**

El enfoque de Hansen supone que la energía de cohesión puede dividirse en: las contribuciones de las interacciones de dispersión  $\delta_d$ , interacciones polares  $\delta_p$ , y las interacciones debidas a los puentes de hidrógeno  $\delta_h$ . Su relación la vemos en la siguiente ecuación.

$$\delta^2 = \delta_d^2 + \delta_p^2 + \delta_h^2$$

Los ejes que representan el volumen de solubilidad tienen la proporción  $\delta_d$ ,  $\delta_p$  y  $2\delta_h$ .

En la figura 6.2 está representado el modelo tridimensional de la nitrocelulosa.

Hansen hizo una interpretación visual de su método por medio de tres dimensiones por la construcción de volúmenes de la solubilidad, en donde el centro del cuerpo tridimensional tiene las coordenadas correspondientes a los valores de los componentes de parámetro de solubilidad de las resinas<sup>4</sup>. Todos los solventes activos para determinada resina deberán estar en el interior del volumen, mientras que los que no la

---

<sup>4</sup> Handbook of solvents, George Wypich Editor, Chemtec Publishing, William Andrew Publishing, Toronto-New York 2001

disuelvan, se encontrarán por fuera. Debido a su sencillez, este método se ha vuelto muy popular.

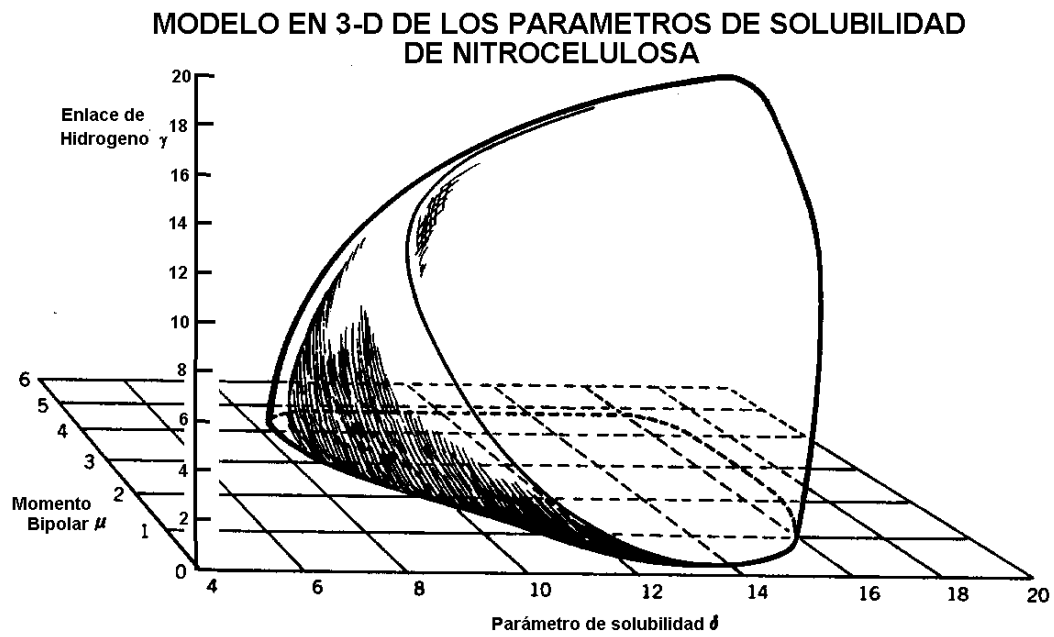


Fig. 6.2

## CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO

*Un problema usual en ingeniería es la selección adecuada de un solvente o mezcla de ellos para disolver un polímetro. Esta selección implica que el solvente junto con el polímetro formen una solución termodinámicamente estable en un rango de concentración y temperaturas (por ejemplo un cambio de energía libre de Gibbs o potencial químico de la solución del polímetro con el solvente) pero este criterio depende no solo de las propiedades del solvente, sino también de las propiedades del polímetro y su concentración.*

## CAPITULO VI

### ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA FORMULACIÓN DE UN SISTEMA DE SOLVENTES

#### **Definiciones:**

#### **Solvente Activo Latente y Diluyente<sup>1</sup>**

En la práctica, para hacer la formulación de un sistema de solventes se utilizan conceptos como: solvente activo, latente y diluyente, estos se explican a continuación.

Un Solvente **activo** es aquel que disuelve fácilmente a una sustancia dada a temperatura ambiente. En este caso, alguno o más de uno de los parámetros de solubilidad del solvente y del polímero son similares. Al agregar un solvente activo a una resina, se observa un abatimiento drástico de la viscosidad del sistema.

Entre las principales características de un activo se encuentran las siguientes:

- 1 Buen solvente de la resina
- 2 Baja la viscosidad
- 3 Es el de mayor precio

Un solvente **latente** no puede disolver por si mismo a la resina, sin embargo, estos pueden ser activados cuando se les agrega un solvente activo, de esta manera se obtendrá un efecto sinérgico obteniendo mejores resultados en la disolución que incluso si usáramos el solvente activo solo. Los solventes latentes incluyen a aquellos con parámetros de solubilidad extremadamente altos o bajos o con puentes de hidrógeno tales como alcoholes, agua, acetatos, esterres de alto peso molecular, cetonas, etc. En el diagrama de los parámetros de solubilidad, los solventes latentes se encuentran fuera de las regiones de solubilidad de los solutos.

Entre las principales características de un latente se encuentran las siguientes:

- 1 Asiste al solvente activo

---

<sup>1</sup> Material de apoyo del Noveno diplomado en Tecnología de Pinturas 2007, Módulo 1, Facultad de Química UNAM.

- 2 Reduce la viscosidad
- 3 No es buen solvente por si mismo
- 4 Precio moderado

Los **no solventes o diluyentes** no son capaces de disolver a la resina en cuestión. Sus parámetros de solubilidad se encuentran fuera de las regiones de solubilidad de la sustancia a disolver. En la figura 7.1 se muestra un diagrama en el que se muestra los solventes activos y diluyentes para el PVC, PVB y PVA. En la formulación de pinturas actúan como abarata-dotes del sistema de solventes.

Entre las principales características de un diluyente se encuentran las siguientes:

- 1 Diluye la formulación
- 2 No disuelve la resina
- 3 Bajo precio

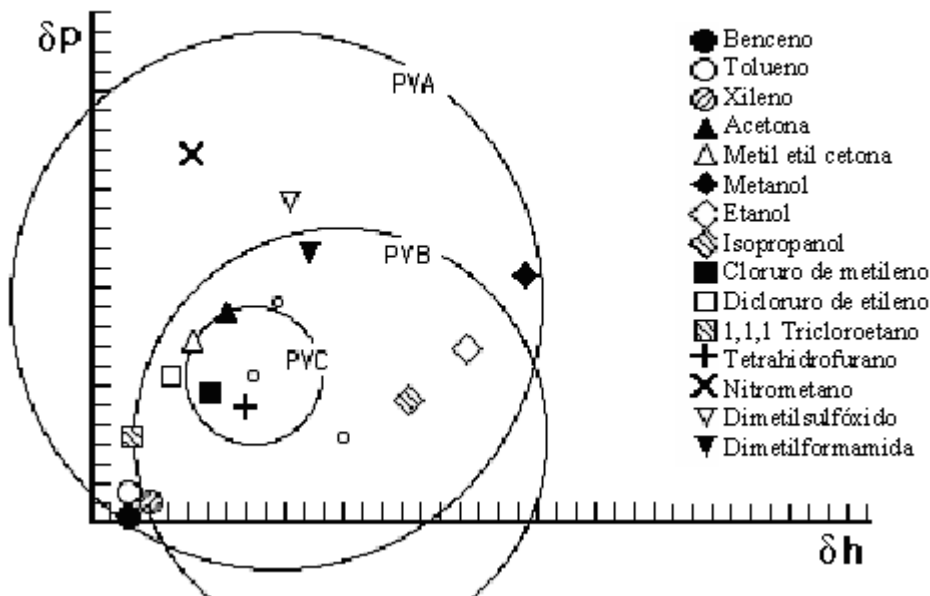


Fig. 7.1

La expresión solvente activo, solvente latente y no solvente o solvente diluyente, solo aplica para sustancias específicas a ser disueltas, es decir son términos relativos. Un solvente puede ser un diluyente para algunas sustancias y un activo para otras. Con un simulador podemos obtener representaciones gráficas como el de la figura 7.1, en el

que se representan gráficamente a los parámetros de solubilidad de la resina que nos ayuden a formular a nuestro sistema de solventes y de esta manera no tener problemas de mala solvatación. De este gráfico podemos ver que para el PVC los solventes activos serán el cloruro de metileno y el tetrahidrofurano; para el PVB serán los dos anteriores y el alcohol isopropílico, el alcohol etílico, el bicloruro de etileno, la metil etil cetona, la acetona; y para el PVA serán todos los anteriores junto con el nitrometano, la dimethylsulfoxide, el benceno y el tolueno, el benceno, el xileno y el metanol.

En la figura 7.2, se observan los puntos de los parámetros de solubilidad en el espacio, de diversos solventes para una resina de nitrocelulosa. Los que se encuentran dentro del cuerpo tridimensional, son solventes activos para la nitrocelulosa tales como: las cetonas en su mayoría, algunos ésteres. Por el contrario tenemos que los que se encuentra fuera del cuerpo tridimensional son no solventes tales como los glicol éter para este caso.

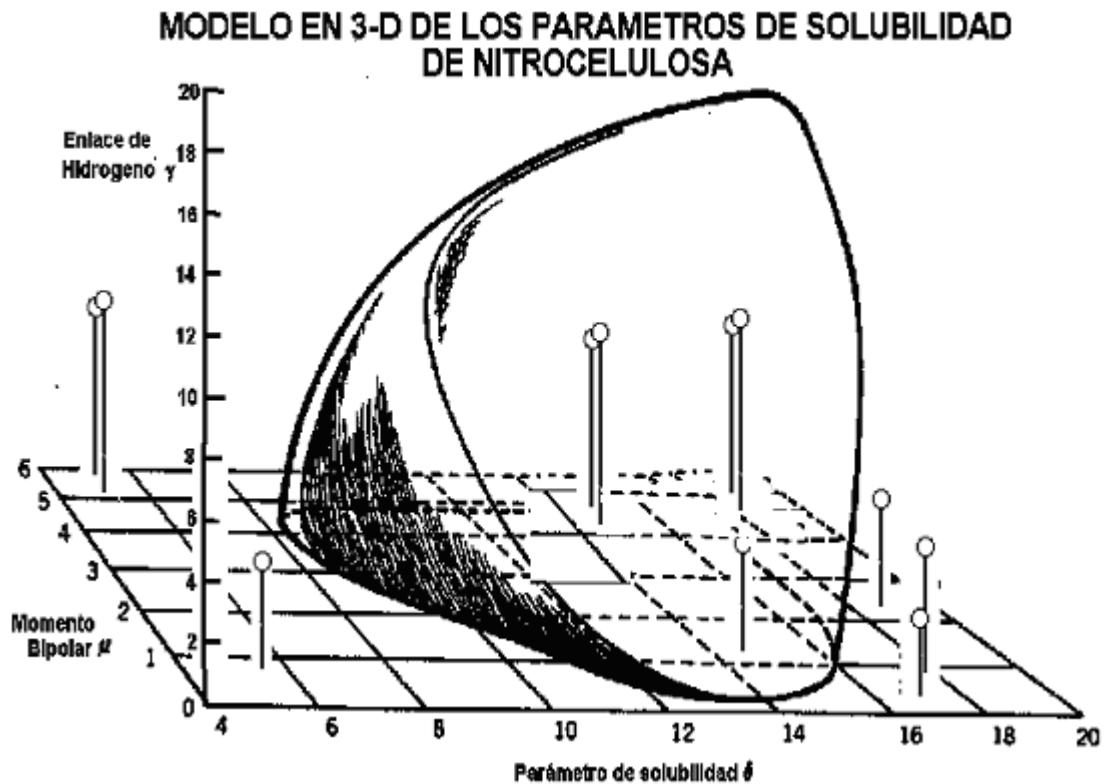


fig. 7.2

Una general estima que una mezcla de solventes tiene la siguiente proporción:

- 25 % Activo
- 15 % Latente
- 60 % Diluyente

### Velocidad de evaporación en el secado

El concepto de velocidad de evaporación relativa ya lo definimos en el capítulo V, sin embargo, volveremos a retomarlo para explicar su importancia en el acabado de una pintura.

Dijimos que la velocidad de evaporación relativa de un solvente es el tiempo requerido para que se evapore el 90% de un mililitro (1 mL) del solvente probado con respecto al tiempo de evaporación de un estándar.

Este se transforma a unidades relativas con respecto al valor obtenido por el estándar, el cual es equivalente a la unidad. En la tabla 7.1 se muestra la velocidad de evaporación



de 4 solventes y su velocidad de evaporación relativa respecto al éter di-etílico y al n-butyl acetato. En el capítulo V, en la parte de velocidad de evaporación relativa vimos como pasar a estas unidades.

**Tabla 7.1**

solvente	V. E (seg)	V.E.R (Escala n-Bu Ac)	V.E.R (Escala eter di-etílico ter etílico)
Éter etílico	39	12	1
Acetato de n-butilo	468	1	12
Tolueno	249.6	1.9	6.4
Xileno	674.7	0.7	17.3

Velocidad de evaporación y velocidad de evaporación relativa en las dos diferentes escalas

Para pasar de una escala a otra, basta con usar la fórmula:

$$\mathbf{V.E.R}_{\text{éter etílico}} = \mathbf{12 / V.E.R}_{\text{n-butyl acetato}}$$

Los solventes pueden ser clasificados como rápidos medianos o lentos de acuerdo a la escala del n- butil acetato, quedando de la siguiente manera:

<b>Rápidos</b>	<b>&gt; 3</b>
<b>Medianos</b>	<b>0.8 – 3.0</b>
<b>Lentos</b>	<b>&lt; 0.8</b>

Las velocidades de evaporación relativa, referidas al éter di-etílico o al n-butyl acetato los podemos encontrar reportados en tablas proporcionadas por el proveedor. En estas se dan las resinas diluidas con diferentes solventes, en la que la disolución que tenga la menor viscosidad, se entiende que será el mejor solvente activo para esa resina.

Es fundamental hacer una buena formulación de un sistema de solventes para pinturas en la que se agreguen en las proporciones necesarias para evitar tener problemas en las propiedades finales de la película, por ejemplo:

Si la velocidad de evaporación es muy lenta observamos escurrimiento, por otro lado tenemos que, si la velocidad de evaporación es muy rápida obtenemos la apariencia de telarañas o cáscaras de naranja (orange peel) o de agujeros o ampollas (hervidos). Las

figuras 7.4 a la 7.6 que se encuentran al final de este capítulo muestran imágenes de problemas en acabados.

La evaporación de los solventes resulta en una disminución constante de la cantidad de solventes y un cambio relativo del porcentaje de solventes en la mezcla.

La velocidad de evaporación de los solventes no es lineal y por lo tanto es difícil de pronosticar la velocidad de evaporación de una mezcla de estos.

*En las etapas finales de evaporación, el solvente de más alta concentración deberá ser el de velocidad de evaporación más lenta. Por lo tanto éste deberá ser un solvente activo para la resina, para asegurar la formación de una película sin defectos.*

Es muy recomendable usar un simulador para visualizar las proporciones en las que los solventes migran y se quedan en la disolución, de esta manera también estaremos previniendo defectos en el acabado de nuestro recubrimiento.

En la figura 7.3, y en la tabla 7.2 se muestran los resultados obtenidos por un simulador para un sistema de solventes para una resina epóxica. Al simulador se le proporcionan los solventes y las cantidades iniciales de cada uno de ellos que mejor consideremos para determinada resina y posteriormente nos arrojará propiedades de la mezcla tales como los parámetros de solubilidad, viscosidad, tensión superficial, costos etc.

En el sistema inicial, originalmente se introdujeron los siguientes datos:

<b>Solvente</b>	<b>% Peso</b>
Xileno:	42.54
Aromatic 100 :	12.371
Alcohol isopropílico:	10.071
Eastman EB (butil sellosolve):	10.011
Metil isobutil cetona:	25.003

Cuando se halla evaporado el 90 % de la mezcla, sólo restarán el EB el Xileno y el Aromatic 100

**Tabla 7.2**  
**Simulated Evaporation Data**  
**(Control Blend)**

**EASTMAN**

**Weight % Solvent Composition VS Weight % Evaporated**

Solvent Name	Weight % Evaporated					HELP?
	10	30	50	70	90	
METHYL ISOBUTYL KETONE (99%)	24.086	21.165	15.383	7.580	0.000	
ISOPROPYL ALCOHOL (99%)	7.973	3.692	0.609	0.040	0.000	
EASTMAN EB (99.4%)	10.955	13.571	18.245	27.156	68.920	
XYLENE (COMMERCIAL)	43.709	45.908	46.334	40.471	4.755	
AROMATIC 100	13.276	15.664	19.428	24.754	26.360	
<b>Hansen Solubility Parameters</b>						
DISPERSION	8.15	8.21	8.29	8.32	8.08	
POLAR	1.61	1.43	1.25	1.18	1.82	
HYDROGEN BONDING	2.83	2.47	2.27	2.52	4.39	
<b>TOTAL HANSEN</b>	<b>8.78</b>	<b>8.69</b>	<b>8.69</b>	<b>8.77</b>	<b>9.37</b>	

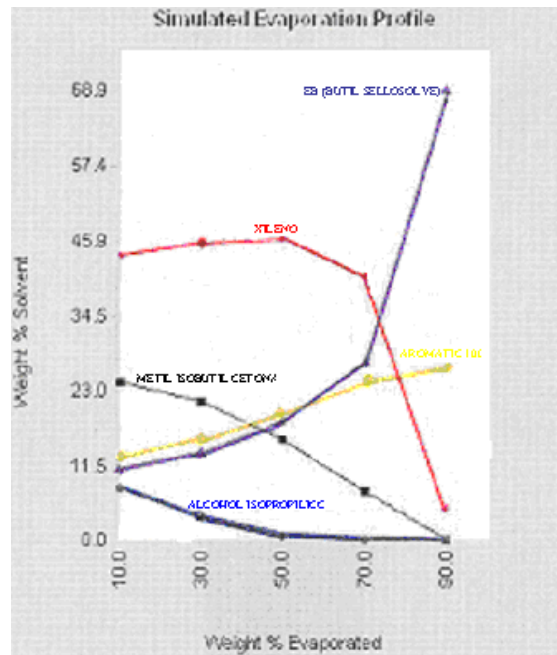


Fig. 7.3, Sistema de 5 solventes para una resina epóxica.

### Reglas de Solubilidad<sup>2</sup>

Las reglas de solubilidad nos ayudan de manera muy sencilla y rápida a saber de manera muy general, si es posible disolver un material en otro. No existen leyes rigurosas que

<sup>2</sup> Disolventes y Plastificantes, Luis Blas Aguilar, S.A. de ediciones Madrid

presidan los procesos de solubilidad; de una serie de resultados prácticos se han deducido una serie de regla y no leyes de solubilidad que a continuación se indican. En general casi siempre se cumple una regla de solubilidad que puede definirse así: *la máxima solubilidad de un compuesto orgánico se encuentra en los cuerpos de composición química o funcional semejante, aunque el reciproco no siempre es cierto.* Esta regla se cumple, casi sin excepción aun en casos, al parecer, contradictorios, por ejemplo; la nitrocelulosa se disuelve en la acetona ordinaria. Pero si pensamos en la riqueza en oxígeno de dicho cuerpo, se observa que tiene un valor del 58%, comparado a la riqueza en oxígeno de la acetona ordinaria. Las resinas naturales muy ricas en carbono e hidrógeno, se disuelven con más facilidad en los solventes hidrocarburos, que en los que contienen oxígeno, y estas mismas resinas, también solubles en los éteres de los glicoles, aumentan su solubilidad a medida que aumenta el punto de ebullición del éter, o sea, su peso molecular; es decir a medida que disminuye su riqueza en oxígeno. Igualmente también casi siempre se cumple la siguiente regla. *Los cuerpos homólogos, esteroisómeros o polisustituídos son mutuamente solubles entre sí.* Por ejemplo tenemos al Xileno que es una mezcla de sus tres posibles isómeros más un cuarto componente, el etil benceno, donde cada uno de ellos tiene 8 átomos de carbono.

Para algunos existe cierta relación entre el punto de fusión de los compuestos orgánicos y la solubilidad. Hildebrandt por ejemplo, define esta regla diciendo: *Todo sólido con elevado punto de fusión es, generalmente, menos soluble a la temperatura ambiente, que otro de punto de fusión menor.*

Finalmente, otra regla, que casi siempre suele cumplirse, es que *el orden o grado de solubilidad de los cuerpos isómeros es el mismo en todos los solventes e independiente de la naturaleza de los mismos.*

## CONCLUSIÓN DEL CAPITULO

*Para determinar un sistema de solventes para pinturas, es necesario tener en cuenta la velocidad de evaporación de los solventes, así como también considerar a los solventes activos, latente y diluyente en base a los parámetros de solubilidad con el fin de no tener problemas en el acabado y a la hora de la aplicación de la película que demeriten la marca, el trabajo y el costo final del recubrimiento.*

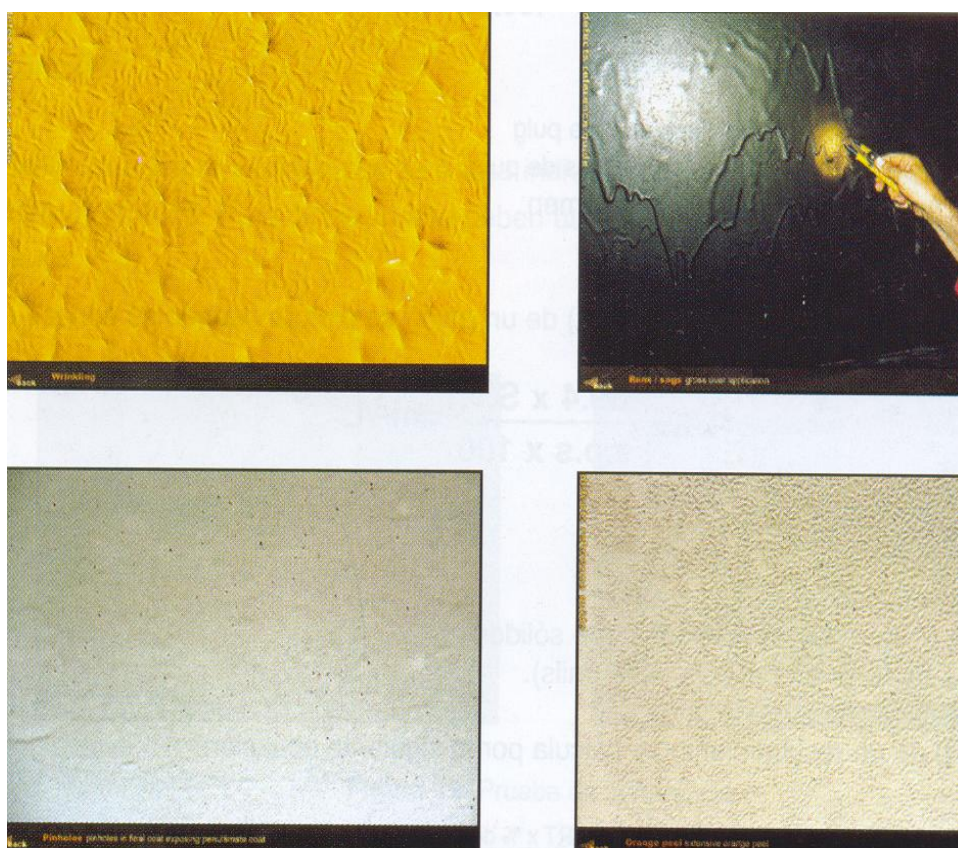


Fig. 7.4 de izquierda a derecha, de arriba abajo: Cáscara de naranja debido a que el solvente activo se ha evaporado rápidamente no permitiendo que fluya la resina; Esgurrimiento; Ojo de pescado debido a una diferencia de tensión superficial entre la resina, el solvente y el sustrato; y el agrietamiento.



Fig. 7.5 Esgurrimento por la incorporación de un solvente demasiado lento

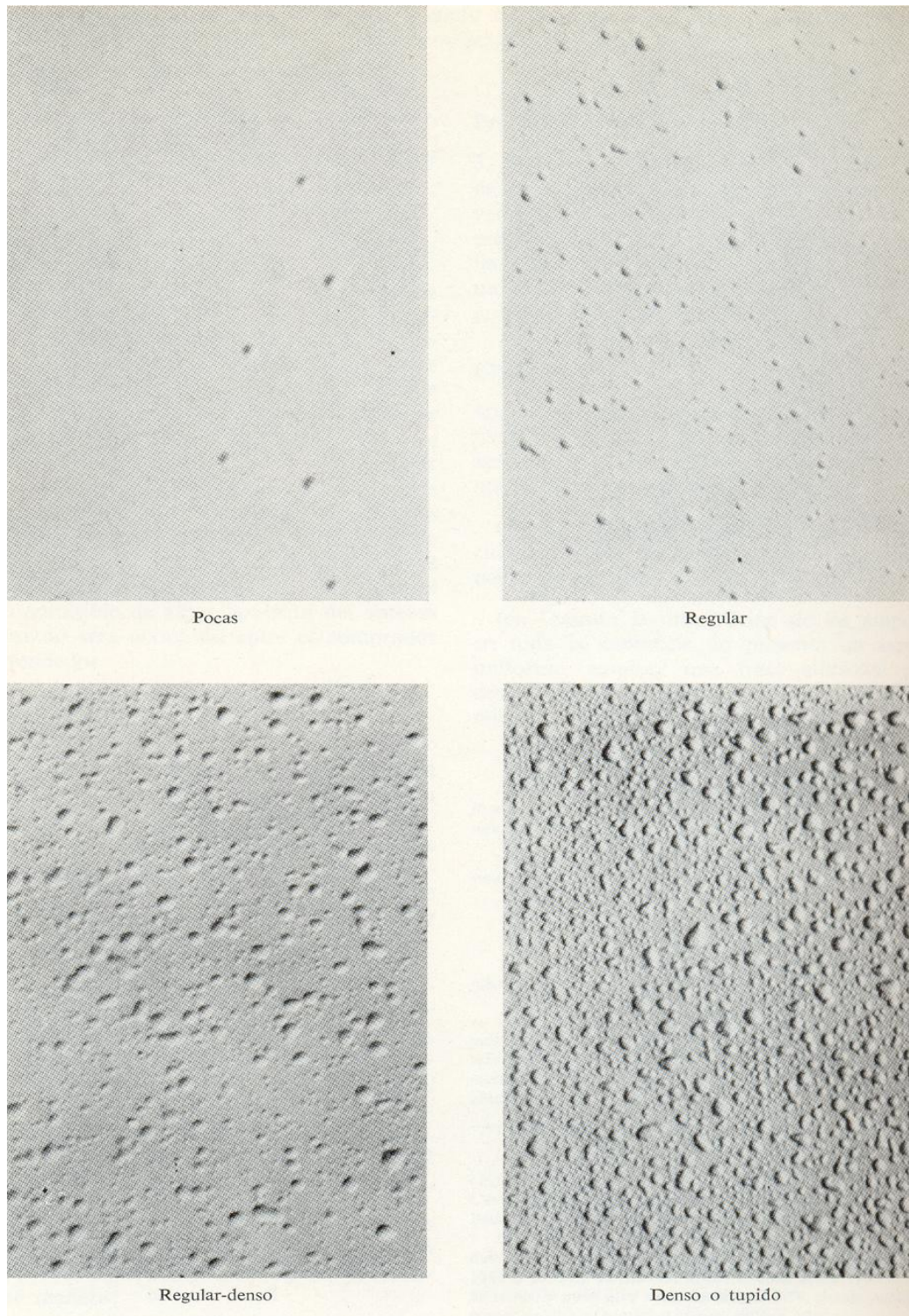


Fig. 7.6 Ampollas. De izquierda a derecha y de arriba abajo la severidad del daño es mayor. Este defecto se debe a que la parte superior de la película se ha secado atrapando solvente. Con un poco de calor el solvente se expande

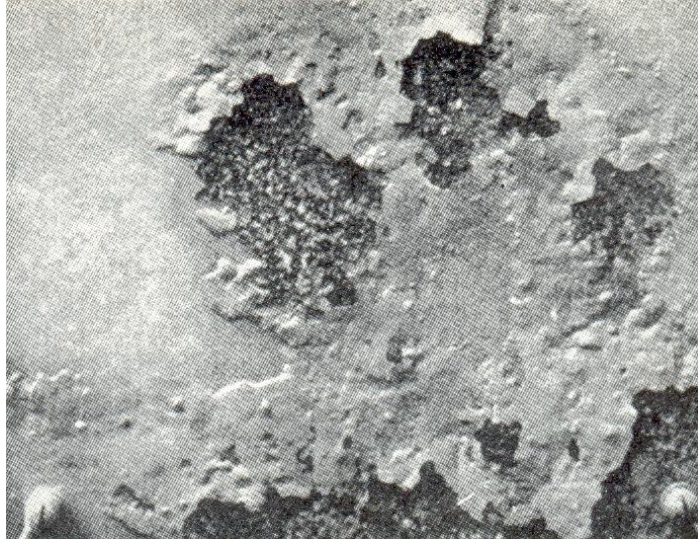


Fig. 7.7. A parte de romper con el efecto estético, los defectos de película pueden traer consecuencias como la corrosión, cuando la película defectuosa se rompe dejando expuesto al sustrato.



## CAPITULO VII TENDENCIA EN CONSUMO DE SOLVENTES

### Volúmenes de Solvente que se emiten a la atmósfera

Del capítulo II vimos que el volumen que ocupan los solventes en la formulación de una pintura es del 50.02%, de ahí podemos determinar el volumen que se emite a la atmósfera por año.

Aunado al la cantidad de solvente requerido para la formulación, la ANAFAPYT reporta otro tanto de solvente comercializado para la preparación de la pintura, por lo que la cantidad de solventes emitidos a la atmósfera es aún mayor. En la tabla 8.1 se muestra la cantidad en volumen manufacturada de pintura base solvente junto con el respectivo volumen de solvente usado para la fabricación por año desde 1987 al 2007.

Tabla 8.1 Volúmenes en millones de litros

AÑO	Volumen de Pintura manufacturada	Volumen de Solvente en la manufactura	Volumen de solvente comercializado	Volumen total de solvente emitido a la atm.
1987	126.65	62.55	52.10	114.65
1988	130.70	64.19	46.60	110.79
1989	145.00	72.05	57.80	134.82
1990	153.13	77.016	56.76	140.55
1991	166.74	83.79	68.62	154.48
1992	172.07	85.86	68.82	160.52
1993	182.79	91.71	69.46	158.200
1994	179.36	88.74	69.76	139.15
1995	140.07	69.38	58.17	139.44
1996	163.06	81.27	53.88	147.24
1997	185.86	93.36	59.77	156.38
1998	193.00	96.60	63.00	165.09
1999	203.87	102.09	66.78	180.88
2000	226.55	114.10	73.46	187.58
2001	223.70	114.12	76.40	190.31
2002	223.98	113.92	72.65	186.57
2003	215.52	107.81	70.67	178.48
2004	213.37	106.73	69.96	176.69
2005	223.24	111.67	73.20	184.86
2006	245.20	122.65	80.40	203.05
2007	228.73	114.41	75.00	189.41
			<b>TOTAL SOLVENTE</b>	<b>3399.16</b>

Para el 2007 la cantidad de **pinturas y recubrimientos base solvente** manufacturados fueron de 228.735 millones de litros. El censo de población y vivienda para el año 2007

del INEGI, reportó un estimado en la población de 108.77 millones de habitantes en el país.

Por lo que el **consumo per cápita** de pinturas y recubrimientos base solvente para el año 2007 fue de:

228.735 millones de litros / 108.77 millones de habitantes = 2.10 litros/persona

## **RESULTADO**

La cantidad total de Solvente emitido a la atmósfera para el año 2007 fue de 189,41 millones de litros

Por año, vemos que son cantidades sumamente elevadas y hasta cierto punto, estratosféricas los volúmenes de solvente que se emiten y eso sin contar los emitidos en otras ramas de la industria y en el resto del mundo. Del año 1987 al 2007 se han emitido **3399.16 millones** de litros de solventes, tan solo provenientes de la industria de pinturas en nuestro país.

En los últimos años hemos visto que el planeta tierra ha tenido un deterioro muy significativo, uno de los más tangibles es el calentamiento global junto con el cambio climático debido al efecto invernadero, y a la emisión de contaminantes como los VOC, de los cuales el sector industrial de pinturas y recubrimientos es en gran medida responsable.

## **Los VOC y la Normatividad aplicada en solventes para pinturas**

NOM-123-SEMARNAT-1998. Esta norma define a los compuestos orgánicos volátiles de la siguiente manera: Cualquier compuesto químico orgánico volátil, que participa en las reacciones fotoquímicas en la atmósfera y que con los óxidos de nitrógeno en presencia de calor y luz solar forman ozono.

Esta Norma Oficial Mexicana establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COV's) en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de los mismos en pinturas y recubrimientos; y es de observancia obligatoria para los fabricantes e importadores de las mismas. Se excluye de la aplicación de esta Norma a las pinturas y esmaltes de acabado metálico, fluorescente y transparente, así como los esmaltes en aerosol.

El contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COV), en la fabricación de pinturas de uso doméstico base disolvente, son las establecidas en la Norma Oficial Mexicana, Tabla 8.2

**Tabla 8.2**

TIPO DE PINTURA PARA USO DOMESTICO DE SECADO AL AIRE BASE DISOLVENTE:	CONTENIDO MAXIMO PERMISIBLE DE COVs (g/l*)
Esmalte arquitectónico	450
Esmalte doméstico	450
Esmalte alquidálico	450
Pintura de aceite	450

**NOTA: (\*)** Gramos de disolventes orgánicos por litro de pintura fabricada y envasada.

Para la manufactura de pinturas industriales base solvente en México, los límites máximos permitidos de VOC emitidos no están regulados.

Realmente, en aspectos ambientales estamos fuera de toda proporción. Tenemos que trabajar mucho en este sector para la creación de nuevas normas que regulen la emisión de VOC a la atmósfera. En países de la Unión Europea, en Estados Unidos y en Canadá,

las normas son mucho más estrictas comparadas con las de nuestro país. En algunos lugares de esos países, sus normas ambientales llegan a ser tan estrictas que no les permiten tener arriba de 50 g/L de VOC. Su límite máximo permisible equivale a tan solo un 11 por ciento de lo que establece la norma NOM-123-SEMARNAT-1998 para uso doméstico recordando que para pinturas industriales, aún no se tiene ningún tipo de regulación.

## **MIR**

Máxima Reactividad Incremental (MIR)<sup>1</sup> es la caracterización de VOC con base en su reactividad fotoquímica para formar ozono en presencia de los componentes ordinarios de la troposfera.

Esta escala se obtiene utilizando un modelo de cálculo de los impactos de ozono en virtud de los VOC y un conjunto de escenarios que representan las condiciones en que el ozono es más sensible a las emisiones de compuestos orgánicos.

En el caso de compuestos orgánicos volátiles, se ha propuesto utilizar el de "Máximo Incremento de la Reactividad "(MIR) para obtener los valores de ozono en un solo valor para cada compuesto para fines de comparación (Carter, 1994a). Estas se definen como el incremento de la reactividad, de los compuestos en los escenarios donde la formación de ozono tiene la máxima sensibilidad a la emisión de compuestos orgánicos volátiles. Esto puede ser apropiado para aplicaciones de reglamentación, ya que refleja las condiciones en que los controles de VOC son los más eficaces para reducir el ozono (CARB, 1993; RRWG, 1999b; Dimitriades, 1999).

Como se discutió por Carter y Atkinson (1989), la más importante condición ambiental que afecta a las magnitudes de ozono de los compuestos orgánicos volátiles es la

---

<sup>1</sup> <http://pah.cert.uer.edu/~carter/SAPRC/NOxMIR.pdf>

relativa de los niveles de óxidos de nitrógeno (NOx) presente en los escenarios. Los niveles de ozono son más afectados en condiciones en las que los niveles de NOx son abundantes y cero en ozono cuando los niveles de NOx se encuentran ausentes, porque se requiere de NOx para que se forme el ozono. Los valores del MIR los podemos encontrar reportados en las tablas de solventes proporcionadas por el proveedor aunque este concepto aún no aplica en la normatividad nacional los fabricantes de pinturas con un poco de conciencia ambiental, pueden usar solventes con bajos valores de MIR y de VOC.

### **La reducción de VOC en recubrimientos<sup>2</sup>**

Hay cuatro métodos para reducir los VOC de un recubrimiento, y estos son:

- 1 Aumentar el contenido de sólidos
- 2 Incluir agua en la formulación
- 3 Incluir solventes exentos de VOC
- 4 Usar solventes con menor densidad

Pero cada uno de estos métodos tiene limitaciones

-El primer método que consiste en aumentar el contenido de sólidos, este tiene como problemas:

- 1 El aumento en la viscosidad. Para ello podemos utilizar solventes más activos.

-El segundo método, al incorporar agua tenemos que:

- 1 El polímero puede ser insoluble en agua.
- 2 Velo o lechosisidad en la película

---

<sup>2</sup> Material de apoyo del Noveno diplomado en Tecnología de Pinturas 2007, Módulo 1, Facultad de Química UNAM.

- 3 Defectos de película. Una solución a estos problemas es de utilizar solventes lentos que formen azeótropos, para que al evaporarse arrastren el agua de la mezcla.

-Los problemas con solventes exentos de VOC es que:

- 1 Son solventes rápidos
- 2 Absorben agua
- 3 Son inflamables

Los únicos solventes exentos son la acetona y el acetato de metilo (en USA). La velocidad de evaporación se podría controlar metiendo un sistema de solventes lentos.

-El problema con solventes de baja densidad es que:

- 1 El precio de materiales como la cetonas y esterres tienen un costo más elevado que los alcoholes e hidrocarburos.

La MIR no se utiliza aún en nuestro país, quizás en algún día, la norma oficial mexicana correspondiente la incorpore como requisito indispensable de cumplimiento para abatir los altos niveles de VOC que se emiten a la atmósfera, y de esta manera evitar la formación de ozono ( $O_3$ ) como consecuencia de las reacciones fotoquímicas que se llevan a cabo entre los VOC y los  $NO_x$ .

### **Nuevas tecnologías en el desarrollo de solventes**

Hemos tratado aspectos como el poder de disolvencia (determinado por la actividad) de un solvente y la velocidad de evaporación como factor de suma importancia en el acabado de la película; los compuestos orgánicos volátiles y algunas maneras para reducir la emisión de estos así como el MIR, que determina el impacto de estos

compuestos en la formación de ozono. Considerando los cuatro puntos anteriores, los nuevos desarrollos de solventes apuntan hacia las cetonas porque estas comparadas con otros solventes, son de menor densidad, son muy activos, tienen una velocidad de evaporación relativa lenta, además de tener una baja reactividad con los NOx (datos reportados en MIR), es por ello que las normas ambientales norteamericanas excluyen a algunos compuestos de este tipo como exentos de VOC.

De las tablas 8.3, 8.4, 8.5 y 8.6<sup>3</sup>, Se observa que la acetona tiene un momento bipolar grande (determinante para los solventes activos) y un valor pequeño de MIR comparado con el i-Butanol. Esto le da características para ser un solvente activo y menos contaminante, por eso los solventes como la acetona cobrará mayor fuerza en el mercado en un futuro no muy lejano, con el objetivo de hacer crecer el mercado de las pinturas con alto contenido en sólidos. En la tabla 8.3 se observa que los esterés también pueden ser solventes activos, sin embargo sus valores de Puentes de hidrógeno tienen valores incluso mas grandes que el de las contribuciones bipolares.

De la tabla 8.4, se observa que los alcoholes tienen alta polaridad, sin embargo las contribuciones de sus puentes de hidrógeno son mucho mayores, por lo que generalmente son usados como solventes latentes.

Los hidrocarburos generalmente tienen momentos bipolares y puentes de hidrógeno muy débiles por lo que son malos solventes. Estos generalmente se usan como diluyentes

Tabla 8.3 Esteres

Solvente	No polar	Polar	Puente de H	Total	MIR
Acetato de metilo	7.6	3.5	3.7	9.2	
Acetato de Etilo	7.7	2.6	3.5	8.8	0.64
EEP (etil3-etoxypionato)	7.9	1.6	4.3	9.1	3.61

<sup>3</sup> Publication M-167AA, Solvents Selector Chart, EASTMAN Chemical Company, December 2006, Printed in USA..

Publication M-282C, Resin Solubility Chart, EASTMAN Chemical Company, October 2000, Printed in USA

Acetato de n-Butilo	7.7	1.8	3.1	8.5	0.89
Acetato de i-Butilo	7.4	1.8	3.1	8.2	0.67
Acetato de n-Propilo	7.5	2.1	3.7	8.6	0.87
Acetato de i-Propilo	7.3	2.2	4.0	8.6	1.12
IBIB	7.4	1.4	2.9	8.1	0.61
Acetato de 2-Etil Hexil	7.7	1.4	2.5	8.2	
Propionato de n-Butilo	7.5	1.6	3.3	8.4	0.84
Diacetato de Etilenglicol	7.9	2.3	4.8	9.5	0.72

Tabla 8.4 Alcoholes

Solvente	No polar	Polar	Puente de H	Total	MIR
Etanol	7.7	4.3	9.5	13.0	1.69
n-Butanol	7.8	2.8	7.7	11.3	3.34
i-Butanol	7.4	2.8	7.8	11.1	2.24
2-Etilhexil Alcohol	7.8	1.6	5.8	9.9	2.20
n-Propanol	7.9	3.3	8.5	12.0	2.74
i-Propanol	7.7	3.0	8.0	11.5	0.71

Valores altos en puentes de Hidrógeno generalmente son solventes latentes.

Tabla 8.5 Cetonas

Solvente	No polar	Polar	Puente de H	Total	MIR
Acetona	7.6	5.1	3.4	9.8	0.43
C-11 Cetona	7.9	1.0	2.0	8.2	
MAK	7.9	2.8	2.0	8.6	2.80
MIBK	7.5	3.0	2.0	8.1	4.31
DIBK	7.6	1.8	2.0	8.0	2.94
MIAC	7.6	2.8	2.0	8.3	2.10
MPK	7.8	3.7	2.3	8.9	3.07

La cetona presenta el valor más alto de todos los solventes, por esto que se considera uno de los solventes más activos, a demás de tener un valor bajo de MIR por lo que es considerado exento de VOC.

Tabla 8.6 Hidrocarburos

Solvente	No polar	Polar	Puente de H	Total	MIR
Tolueno	8.8	0.7	1	8.9	3.97
Xileno	8.6	0.5	1.5	8.7	7.49
Cloruro de metileno	8.9	3.1	3	9.7	0.07

Tabla 8.7

Efecto del solvente en VOC		
Solvente	Densidad en g/ml	Recubrimiento / VOC g/l
MIAC Metil isoamil cetona	0.78	414
MAK Metil amil cetona	0.79	416



PM Acetato	0.95	445
Xileno	0.89	435

La tabla 8.7 muestra como usando solventes como MIAK y MAK, contribuimos a disminuir las emisiones de VOC a la atmósfera y cumplimos la norma NOM-123-SEMARNAT-1998 que establece 450/L como máximo permisible para pinturas domésticas.

Algunas de las cetonas más comúnmente usadas en el mercado:

- \*Acetona
- \* Metil Etil Cetona (MEK)
- \*Metil Propil Cetona (MPK)
- \*Metil Isobutil Cetona (MIBK)
- \*Metil Isoamil CetonaMe (MIAK)
- \*Metil Amil Cetona (MAK)
- \*Ciclohexanona
- \*Diisobutil Cetona (DIBK)
- \*C-11 Cetona
- \*Isoforona

## CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO

*En capítulos anteriores hemos visto que la selección de los solventes para determinada resina se sugiere de hacer considerando principalmente la actividad y velocidad de evaporación del solvente con el fin de evitar defectos, si embargo, cada día cobra más importancia la necesidad de trabajar con materiales que tengan el menor impacto al medio ambiente, por eso la importancia de considerar el contenido de VOC's y su*

*reactividad con los NO<sub>x</sub> (MIR). Algunos alcoholes tienen bajos niveles de MIR pero la contribución polar de sus parámetros de solubilidad es baja y la contribución por puentes de hidrógeno es alta por lo que no es muy activo. Algunos esteres tienen contribuciones de puentes de hidrógenos bajas pero también las contribuciones polares son bajas, aunque también muestran niveles de MIR bajos. Algunas cetonas muestran tener polaridad alta con puentes de hidrógeno bajos y MIR también bajos por lo que se usaran cada vez más en la industria de recubrimientos para la fabricación de pinturas con alto contenido en sólidos.*

## CONCLUSIONES GENERALES

-En la formulación de una pintura base solvente en México, en promedio se utiliza de solvente 50.02 %, entonces por cada litro de pintura de este tipo que se manufactura en nuestro país, poco más de la mitad se irá a la atmósfera, el resto son sólidos y otro tipo de materiales como aditivos.

-Es de vital importancia conocer las características de la resina que se emplea, para determinar los solventes que se deben de usar, esto también implica considerar actividad y velocidad de evaporación. Para ello podemos usar las tablas de parámetros de solubilidad o en el mejor de los casos un simulador.

-El sector de pinturas y recubrimientos de nuestro país emite una gran cantidad de VOC (Compuestos Orgánicos Volátiles) a la atmósfera por año. Para el 2007 la emisión de solventes fue de poco **más de medio millón de litros por día**. Existen diferentes formas para disminuir la cantidad de estas sustancias que se emiten en la atmósfera, por ejemplo, con el uso de solventes menos densos, o con el uso de solventes bajos en MIR, entre otras.

-Con forme las empresas fabricantes de pinturas en conjunto con los formuladores, comiencen a considerar cada vez más las propiedades de solventes tales como: la densidad, la MIR, y el contenido de VOC (sin descuidar la actividad y la velocidad de evaporación) la tendencia en el uso de solventes se inclinará hacia el uso de algunas cetonas, esterres y algunos hidrocarburos.

## BIBLIOGRAFÍA

-Química

Raymond Chang

Sexta edición 1999

McGraw-Hill pag. 417-470

-Handbook of solvents

George Wypich Editor

Chemtec Publishing

William Andrew Publishing

Toronto-New York 2001

-Solvents

William H. Ellis

Federation Series on

Coatings Technology

1989

-Paints, Coating and Solvents

Dieter Stoye, Warner Freitag (Editors)

Second, completely

Revised edition 1998

Edit. Wiley-VCH

277-372

-Disolventes y Plastificantes

Luis Blas

Aguilar, S.A. de ediciones Madrid

-Introduction to Paint Chemistry

And Principles of Paint Technology

J. Bentley and G.P.A. Turner

Fourth Edition

Edit. Chapman and Hall

-Tesis, Universidad Autónoma Metropolitana

Ciencias Básicas e Ingeniería

Evaluación de Tres Pigmentos Anticorrosivos

De Nueva Generación y Dos Tradicionales

Coautores: Elizalde Uribe Griselda

Arceo Martínez Edgar Cesar

México D.F. 1994

-Tesina, Universidad Iberoamericana

Estudio de Factibilidad Técnico-Económica

del Establecimiento de Una Fábrica de

Pinturas en el Sureste de la República Mexicana  
German Gedovius Santos  
México D.F. 1996

-NOM-123-SEMARNAT-1998

-Estadísticas ANAFAPYT,  
Estimación del Mercado Mexicano  
de Pinturas y Recubrimientos

-Publication M-167AA, Solvents Selector Chart, EASTMAN Chemical Company,  
December 2006, Printed in USA,

-Publication M-282C, Resin Solubility Chart, EASTMAN Chemical Company,  
October 2000, Printed in USA

Material de apoyo del Noveno diplomado en Tecnología de Pinturas 2007, Modulo 1,  
Facultad de Química UNAM.

Defectos de capas de Pinturas  
(causas y remedios)  
Manfred Hess  
Editorial: Blume, 1973