

# OPTIMIZACIÓN DE PROPIEDADES REFLECTIVAS DE COOL ROOFS USANDO MICROESFERAS POLIMÉRICAS HUECAS

*Francisco Ramón Rubin-Zacarías<sup>1</sup>, Ignacio R. Martín-Domínguez<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Produquímicos Industriales S de RL de CV / Akzo Nobel Expancel  
Eje 128 # 215. Zona Industrial del Potosí. 78395 San Luis Potosí, SLP. México.  
frubin@igcar-proinsa.com.mx

<sup>2</sup> Centro de Investigación de Materiales Avanzados, S.C.  
Departamento de Energía Renovable y Protección del Medio Ambiente  
Miguel de Cervantes 120, Complejo Industrial Chihuahua. 31109 Chihuahua, Chih. México.  
ignacio.martin@cimav.edu.mx

## ABSTRACTO

El uso de recubrimientos de techo fríos (alta reflectancia solar y emitancia térmica) en edificaciones, reduce las cargas de enfriamiento y mitiga el efecto de islas de calor. La mayoría de los recubrimientos fríos actuales están basados en bióxido de titanio. Este pigmento es muy efectivo para reflejar la radiación solar visible pero exhibe una alta absorción en el rango infrarrojo. La inclusión de microesferas poliméricas huecas en los recubrimientos de techo fríos, puede incrementar su capacidad para reflejar la radiación solar infrarroja (NIR), la cual representa cerca del 50% del total de la radiación solar incidente.

Se midieron la reflectancia espectral en el rango solar y la emitancia térmica de diferentes recubrimientos aplicados sobre un sustrato negro y los resultados mostraron que la inclusión de microesferas poliméricas huecas (MSPH) en recubrimientos de cualquier color incrementa su reflectancia solar en hasta 30% cuando se compara contra recubrimientos del mismo color sin MSPH. Los resultados también mostraron que la emitancia térmica de los recubrimientos se mantiene al incluir MSPH en su formulación.

Los resultados de las pruebas anteriores fueron confirmados mediante la evaluación experimental de la ganancia de calor a través de losas de concreto expuestas al sol, recubiertas con diferentes sistemas para techumbre (Lucero *et al.*, 2011), donde los recubrimientos que incluyen MSPH mostraron un mayor efecto de reducción en las ganancias de calor que los recubrimientos convencionales del mismo color.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las edificaciones son responsables por 20% de las emisiones globales de gases invernadero. La ganancia solar es responsable por el 50% de la energía consumida por los sistemas de enfriamiento en edificaciones (Akbari *et al.*, 2009). En las ciudades, la alta densidad de edificaciones con superficies que absorben radiación solar genera un incremento en la temperatura del aire que puede ser de hasta 5°C (Isla de calor urbana).

En la mayoría de las edificaciones de tipo residencial en México, se utilizan losas de concreto para la construcción de los techos. La mayoría de las casas y edificios en México tienen techos planos y casi horizontales (de baja pendiente). De acuerdo con la nueva legislación en materia de ahorro de energía, las edificaciones nuevas en México deberán incluir aislamiento térmico suficiente para cumplir con los requerimientos de conductancia térmica para la envolvente especificados en las normas NOM-008-ENER-2001 y NOM-020-ENER-2011 (CONUEE, 2001; 2011). Sin embargo, debido a que en la mayoría de los casos, los techos con o sin aislamiento deben ser protegidos con una película impermeable, las características reflectivas/emisivas de ésta película impermeabilizante son muy importantes. El uso de cubiertas reflectivas y emisivas conocidas como Cool Roofs, pueden reducir el flujo de calor a través de los techos de edificaciones. (Akbari, 2003; Akbari *et al.*, 1999; Jo *et al.*, 2010).

Las temperaturas superficiales dependen de las propiedades ópticas del recubrimiento superficial, los recubrimientos de color más claro suelen tener reflectancias solares más altas.

Recientemente se han desarrollado materiales novedosos para incrementar la reflectancia de recubrimientos en el rango infrarrojo solar (780-2500 nm), (Levinson *et al.* 2007a, 2007b, 2010; Synnefa *et al.*, 2007).

En este estudio se midió la reflectancia espectral en el rango solar y la emitancia térmica de diferentes recubrimientos comerciales para techumbre. También se realizaron las mismas mediciones para recubrimientos preparados en laboratorio con diferentes cargas, pigmentos y MSPH con el objetivo de determinar el efecto de estos en la reflectancia y emitancia de los mismos.

Se realizaron pruebas experimentales para medir el flujo de calor a través de losas de concreto fabricadas del mismo material y del mismo espesor, recubiertas con diversos sistemas aislantes y/o reflectivos, las cuales fueron expuestas por iguales periodos de tiempo a condiciones internas y externas idénticas. Las temperaturas fueron medidas simultáneamente cada dos minutos por un periodo de 21 días. Con estas mediciones se calculó el flujo de calor a través de cada probeta y consecuentemente el flujo de calor a través de los diferentes sistemas con los que están recubiertos. Dadas las condiciones del experimento, es posible hacer una comparación objetiva de la eficiencia de la reducción de flujo de calor de cada uno de los sistemas.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Medición de reflectancia espectral en el rango solar y emitancia térmica de diferentes recubrimientos.

#### 2.1.1 Preparación de los especímenes.

Se obtuvieron impermeabilizantes acrílicos convencionales comerciales disponibles en el mercado mexicano, de color blanco y terracota así como impermeabilizantes acrílicos celulares de los mismos colores. Los impermeabilizantes acrílicos celulares contienen MSPH en su formulación. Se prepararon dispersiones en resina acrílica de MSPH de diferentes tamaños de partícula, de carbonato de calcio malla 325 y de bióxido de titanio para pinturas. Todas las dispersiones se formularon a PVC = 30%, a excepción de la de bióxido de titanio, que se preparó al 2% en peso. Los recubrimientos comerciales y dispersiones en resina acrílica se aplicaron sobre leneta de contraste negra a un rendimiento de 1 L/m<sup>2</sup>. Los especímenes fueron dejados secar por siete días a temperatura ambiente y empacados para su envío al laboratorio.

La tabla 1 muestra las características de los materiales usados para preparar las dispersiones en resina acrílica.

Tabla 1: Características de materiales usados para dispersiones en resina acrílica

Nombre comercial	Fabricante	Tipo de producto	Diámetro medio partícula $\mu\text{m}$	Gravedad específica	Contenido de sólidos %	Absorción de aceite (g/100 mL)
RHOPLEX™ 2019RX	Rohm and Haas	Emulsión de resina estiren acrílica	N/A	1.03	55	N/A
Expancel® 461 WET 20d30	AkzoNobel Pulp & Performance Chemicals	Microesferas poliméricas huecas expandidas y húmedas	20	0.03	15	42
Expancel® 461 WET 40d25	AkzoNobel Pulp & Performance Chemicals	Microesferas poliméricas huecas expandidas y húmedas	40	0.025	15	38
Expancel® 920 WET 80d25	AkzoNobel Pulp & Performance Chemicals	Microesferas poliméricas huecas expandidas y húmedas	80	0.025	15	35
Ti-Pure® R-900	DuPont™	Pigmento de bióxido de titanio de rutilo	0.41	4.0	100	61
M-325	Carbonatos Selectos S.A. de C.V.	Carbonato de calcio molido malla 325	13	2.7	100	41

#### 2.2.2 Reflectancia espectral en el rango solar.

Se midió la reflectancia hemisférica-direccional espectral  $R_{dh}$  de las muestras a 25°C (298 K) usando espectrofotómetro con esfera integradora Perkin Elmer (Fig. 1), en el rango solar

(0.25 a 2.5  $\mu\text{m}$ ). La reflectancia solar fue derivada a partir de la reflectancia espectral y calculada integrando  $R_{\text{dh}}$  sobre todas las longitudes de onda medidas y usando la radiación solar normalizada  $s_{\lambda}$  (Fig. 2) como función de peso (ASTM E-903) (Eq.1)

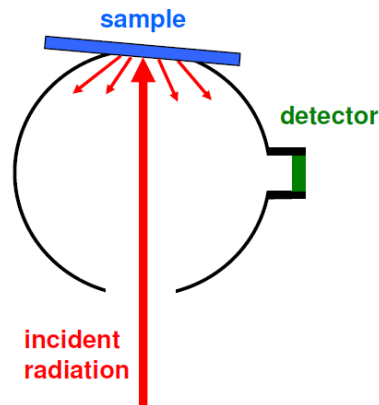


Fig. 1: Medida de la reflectancia hemisférica-direccional  $R_{\text{dh}}$  con una esfera integradora.

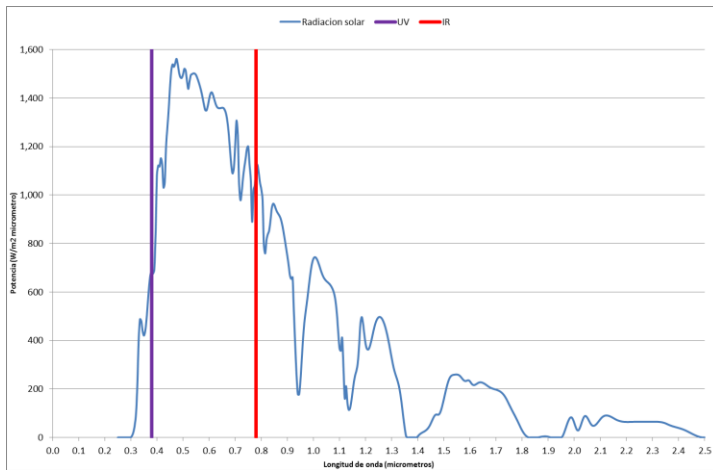


Fig. 2: Radiación solar normalizada

$$R_{\text{solar}} = \frac{\int_{0.3}^{2.5} R_{\text{gh}} \cdot s_{\lambda} \cdot d\lambda}{\int_{0.3}^{2.5} s_{\lambda} \cdot d\lambda}$$

Ecuación 1.

### 2.1.2 Emitancia térmica.

Se midió la emitancia térmica de las muestras de acuerdo con el método ASTM C1371 (ASTM, 2010). Este método usa un emisómetro portátil de termopila, y mide la emitancia térmica de materiales opacos de alta conductividad térmica a temperatura cercana a la del ambiente. (Fig. 3)

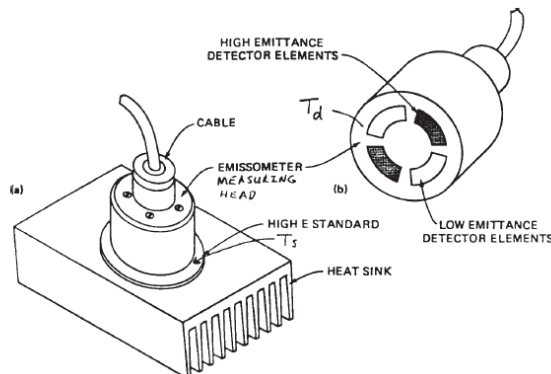


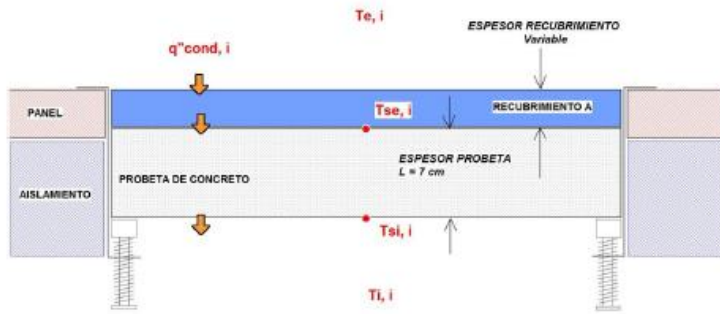
Fig. 3: Esquemático del emisómetro.

## 2.2 Medición de flujo de calor a través de losas de concreto.

### 2.2.1 Medida y cálculo del flujo de calor.

De acuerdo con (Lucero, *et al.*, 2011) El flujo de calor a través de un recubrimiento aplicado sobre una losa de concreto, es el mismo que fluye a través de la losa de concreto y para probetas del mismo material y dimensiones, puede ser calculado midiendo las temperaturas superficiales de ambas caras de la probeta sin importar el recubrimiento que esté encima de esta

(Fig. 4). Por lo tanto en una probeta de área conocida, espesor conocido y conductividad térmica conocida, el flux de calor instantáneo puede ser calculado mediante la ecuación 2.



$$q'_{cond,i} = k \left( \frac{T_{se,i} - T_{si,i}}{d} \right)$$

**k** = Conductividad térmica (W m-1 °C-1)  
**d** = Espesor de la probeta (m)  
**Tse,i** = Temp. Superficie exterior probeta (°C)  
**Tsi,i** = Temp. Superficie interior probeta (°C)

Fig. 4: Esquemático de las probetas experimentales.

Ecuación 2.

### 2.2.2 Estación experimental.

Se diseñó y construyó una estación experimental con aberturas para colocar doce probetas, usando paneles prefabricados aislados. Se instaló una unidad de aire acondicionado tipo mini-split. Se fabricaron las probetas del mismo material y dimensiones. (Figura 5)



Fig. 5: Estación experimental.

### 2.2.3 Calor total acumulado

Con los valores de flux de calor instantáneo obtenidos, se calculó la cantidad total de calor que fluyó, por unidad de área, a través de cada una de las probetas en un periodo de tiempo. Para esto se integró numéricamente, con respecto al tiempo, el área bajo las curvas de flux de calor. Se obtuvieron datos acumulativos para semanas completas.

## 3. RECUBRIMIENTOS EVALUADOS

### 3.1 Medición de reflectancia espectral en el rango solar y emitancia térmica de diferentes recubrimientos.

La Tabla 2 muestra los recubrimientos en los que fue evaluada la reflectancia espectral en el rango solar y emitancia térmica.

Tabla 2: Recubrimientos evaluados en propiedades ópticas.

Muestra	Recubrimiento	Descripción
1	Impermeabilizante acrílico blanco normal	Impermeabilizante regular
2	Impermeabilizante acrílico celular blanco	Impermeabilizante c/MSPH
3	Impermeabilizante acrílico terracota normal	Impermeabilizante regular
4	Impermeabilizante acrílico celular terracota	Impermeabilizante c/MSPH
5	Resina acrílica + PVC=30% Expancel 461 WET 20d30	MS tamaño de partícula 20 µm.
6	Resina acrílica + PVC=30% Expancel 461 WET 40d25	MS tamaño de partícula 40 µm.
7	Resina acrílica + PVC=30% Expancel 920 WET 80d25	MS tamaño de partícula 80 µm.
8	Resina acrílica + PVC=30% CaCO <sub>3</sub> malla 325	Tamaño medio de partícula 45 µm.
9	Resina acrílica + 2% en peso Bióxido de titanio pinturas	Tamaño medio de partícula 0.4 µm.

### 3.2 Medición de flujo de calor a través de losas de concreto.

La Tabla 3 muestra los sistemas/recubrimientos que fueron evaluados en la prueba de flujo de calor a través de losas de concreto.

Tabla 3: Recubrimientos evaluados en flujo de calor a través de losas de concreto

Probeta	Recubrimiento	Espesor
2	Impermeabilizante acrílico celular blanco	1.0 mm
5	1" Poliestireno exp. + Impermeabilizante acrílico terracota	25.4 mm + 0.5 mm
6	1" Poliestireno exp. + Impermeabilizante acrílico celular blanco	25.4 mm + 1.0 mm
9	Impermeabilizante acrílico blanco	0.5 mm
10	Impermeabilizante acrílico terracota	0.5 mm
11	Impermeabilizante acrílico celular terracota	1.0 mm

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Medición de reflectancia espectral en el rango solar y emitancia térmica de diferentes recubrimientos.

#### 4.1.1 Reflectancia espectral en el rango solar.

En la Figura 6 se observa que tanto los impermeabilizantes normales como los celulares muestran una reflectancia similar en el rango ultravioleta y visible (250 a 780 nm), sin embargo muestran diferencias importantes en rango infrarrojo solar (780 a 2500 nm). Las diferencias se acentúan en el rango entre 1000 y 1200 nm.

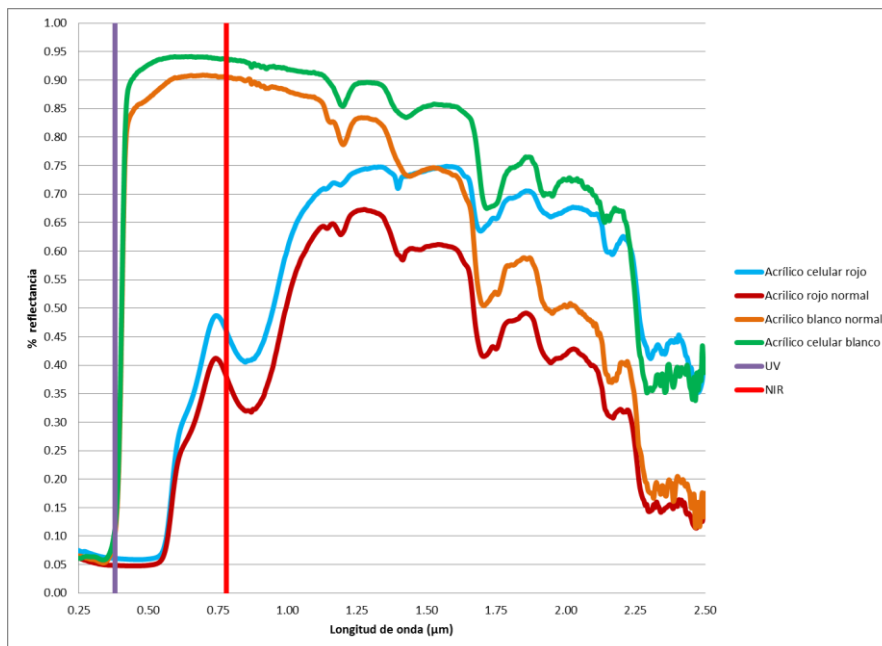


Fig. 6: Reflectancia espectral de recubrimientos comerciales con y sin microesferas plásticas huecas.

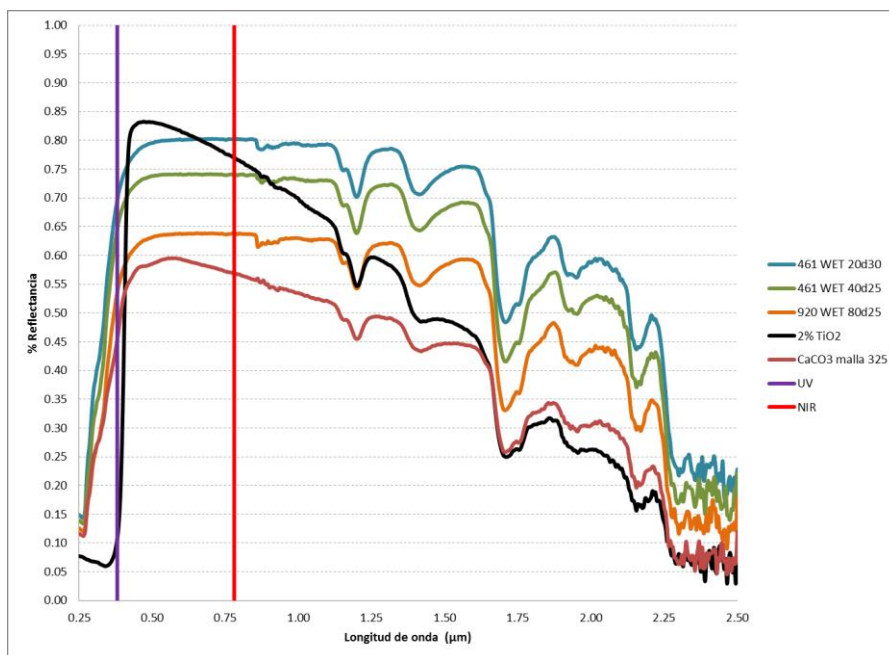
La Tabla 4 muestra los valores de reflectancia visible, infrarroja y solar integrados usando la irradiación solar normalizada como función de peso. Para los impermeabilizantes blancos la diferencia en el rango visible es muy pequeña (0.09 puntos porcentuales) mientras que en el

rango infrarrojo es de 7.21 puntos porcentuales. En los impermeabilizantes terracota se repite el fenómeno (3.33 y 11.08 puntos porcentuales respectivamente). Al calcular la radiación solar absorbida al estar sometidos a irradiación solar normalizada, se observa que el acrílico blanco normal absorbe 39% más radiación que el acrílico celular blanco. En el caso del acrílico terracota normal, la absorción de radiación es 10.3% mayor que el acrílico terracota celular.

**Tabla 4: Reflectancias integradas con la irradiación solar normalizada como función de peso y radiación absorbida por el recubrimiento si estuviera sometido a irradiación solar normalizada**

Muestra	Recubrimiento	R <sub>vis</sub> %	R <sub>NIR</sub> %	R <sub>SOL</sub> %	Radiación Absorbida W/m <sup>2</sup>
1	Impermeabilizante acrílico blanco	86.13	79.94	80.84	181.04
2	Impermeabilizante acrílico celular blanco	86.22	87.15	86.22	130.19
3	Impermeabilizante acrílico terracota	17.73	48.18	30.06	660.85
4	Impermeabilizante acrílico celular terracota	21.06	59.29	36.59	599.14

En la Figura 7 se observa que todas las dispersiones de MSPH muestran el mismo comportamiento de reflectancia espectral, la reflectancia se mantiene relativamente estable entre 500 y 1600 nm, con una caída importante alrededor de 1650 nm, para alcanzar otro pico alrededor de 1800 nm donde se mantiene relativamente estable hasta 2250 nm, en donde caen dramáticamente. Las curvas de reflectancia de las dispersiones de MSPH varían solo en la magnitud de porcentaje de reflectancia. La dispersión de TiO<sub>2</sub> al 2% muestra un pico a 500 nm, y a partir de ese punto cae dramáticamente. La dispersión de carbonato de calcio muestra su mayor altura a 575 nm y a partir de ahí cae dramáticamente, aunque su caída no es tan acusada como la de la dispersión de TiO<sub>2</sub>, incluso alrededor de 1600 nm se juntan las líneas. La magnitud de porcentaje de reflectancia de la dispersión de carbonato de calcio es menor en todo el rango solar, comparado con las de cualquiera de las dispersiones de MSPH.



**Fig. 7: Reflectancia espectral de dispersiones en resina acrílica de MSPH de diferentes tamaños de partícula comparadas con cargas minerales y pigmentos.**

La Tabla 5 muestra los valores de reflectancia visible, infrarroja y solar, integrados usando la irradiación solar normalizada como función de peso. Las muestras 5, 6 y 7 (MSPH de 20, 40 y 80 µm) muestran pequeñas diferencias entre la reflectancia visible y la infrarroja (5.44, 5.66 y 5.12 puntos porcentuales) mientras que las muestras 8 y 9 (CaCO<sub>3</sub> malla 325 y bióxido de titanio) muestran diferencias mucho más altas (9.88 y 19 puntos porcentuales respectivamente). También se puede observar que la reflectancia solar más alta la muestra el recubrimiento 5 (MSPH de 20 µm). Cabe mencionar que la reflectancia visible (Opacidad) del recubrimiento 5 y el 9 (bióxido de titanio) es prácticamente la misma (diferencia 0.35 puntos porcentuales), pero la reflectancia infrarroja de la muestra 5 es sensiblemente más alta que la reflectancia infrarroja de la 9 (diferencia 13.91 puntos porcentuales).

Tabla 5: Reflectancias integradas con la irradiación solar normalizada como función de peso.

Muestra	Recubrimiento	R <sub>VIS</sub>	R <sub>NIR</sub>	R <sub>SOL</sub>
		%	%	%
5	Res. acrílica + PVC=30% Expancel 461 WET 20d30	79.35	73.91	76.41
6	Res. acrílica + PVC=30% Expancel 461 WET 40d25	73.46	67.80	70.44
7	Res. acrílica + PVC=30% Expancel 920 WET 80d25	62.96	57.84	60.18
8	Res. acrílica + PVC=30% CaCO <sub>3</sub> malla 325	57.99	48.11	53.19
9	Res. acrílica + 2% en peso Bióxido de titanio pinturas	79.00	60.00	68.55

#### 4.2.2 Emitancia térmica

La Tabla 6 muestra los valores de emitancia térmica para los recubrimientos evaluados, en esta se observa que la variación en los valores es muy pequeña, siendo la más alta la de la muestra 1 y la más baja la de la muestra 5 con apenas 2 puntos porcentuales menos. Todos estos recubrimientos muestran una emitancia muy alta por lo cual favorecen el enfriamiento pasivo.

Tabla 6: Emitancia térmica de los recubrimientos

Muestra	Recubrimiento	Emitancia térmica
1	Impermeabilizante acrílico blanco normal	0.89
2	Impermeabilizante acrílico celular blanco	0.88
3	Impermeabilizante acrílico terracota normal	0.89
4	Impermeabilizante acrílico celular terracota	0.88
5	Res. acrílica + PVC=30% Expancel 461 WET 20d30	0.87
6	+ PVC=30% Expancel 461 WET 40d25	0.87
7	Res. acrílica + PVC=30% Expancel 920 WET 80d25	0.88
8	Res. acrílica + PVC=30% CaCO <sub>3</sub> malla 325	0.89
9	Res. acrílica + 2% en peso Bióxido de titanio pinturas	0.89

#### 4.2 Medición de flujo de calor a través de losas de concreto.

La Figura 8 muestra gráficas de flux de calor, en función de la hora del día, para la fecha 10 de octubre del 2010. Se puede observar que el flux de calor a través de las probetas recubiertas con impermeabilizantes acrílicos celulares es menor que el flux de calor a través de las probetas recubiertas con acrílicos normales del mismo color. También se puede observar que el flux de calor a través de las probetas recubiertas con acrílicos color terracota es mayor que en las recubiertas con acrílicos color blanco, tanto para normales como para celulares. Comparando las gráficas de las probetas 5 y 6 se observa que aún usando aislamiento térmico, el uso de un recubrimiento de mayor reflectancia solar reduce dramáticamente el flujo de calor a través de losas de concreto. También es interesante señalar que aun cuando las probetas con aislamiento térmico (5 y 6) muestran valores más bajos de flux de calor durante el día, mantienen flujos de calor hacia el interior de la caseta por más tiempo (10:00 a.m. a 1:00 a.m. del día siguiente). Comparativamente, en las probetas sin aislamiento (2, 9, 10 y 11) se midieron flujos de calor hacia el interior de la caseta desde las 10:00 a.m. y hasta las 21:00 h, esto es, sin aislamiento térmico se inicia el enfriamiento pasivo 4 horas antes en ellas, y la magnitud de dicho enfriamiento es mayor que el alcanzado en las probetas con aislamiento. Lo anterior se debe a que el aislamiento térmico *restringe el flujo de calor en ambas direcciones*, mientras que los recubrimientos reflectivos solo lo restringen en una, la proveniente del sol. Por ello, el aislamiento retarda y restringe el enfriamiento pasivo natural de la losa del techo, cuando el diferencial de temperaturas con el exterior se vuelve negativo.

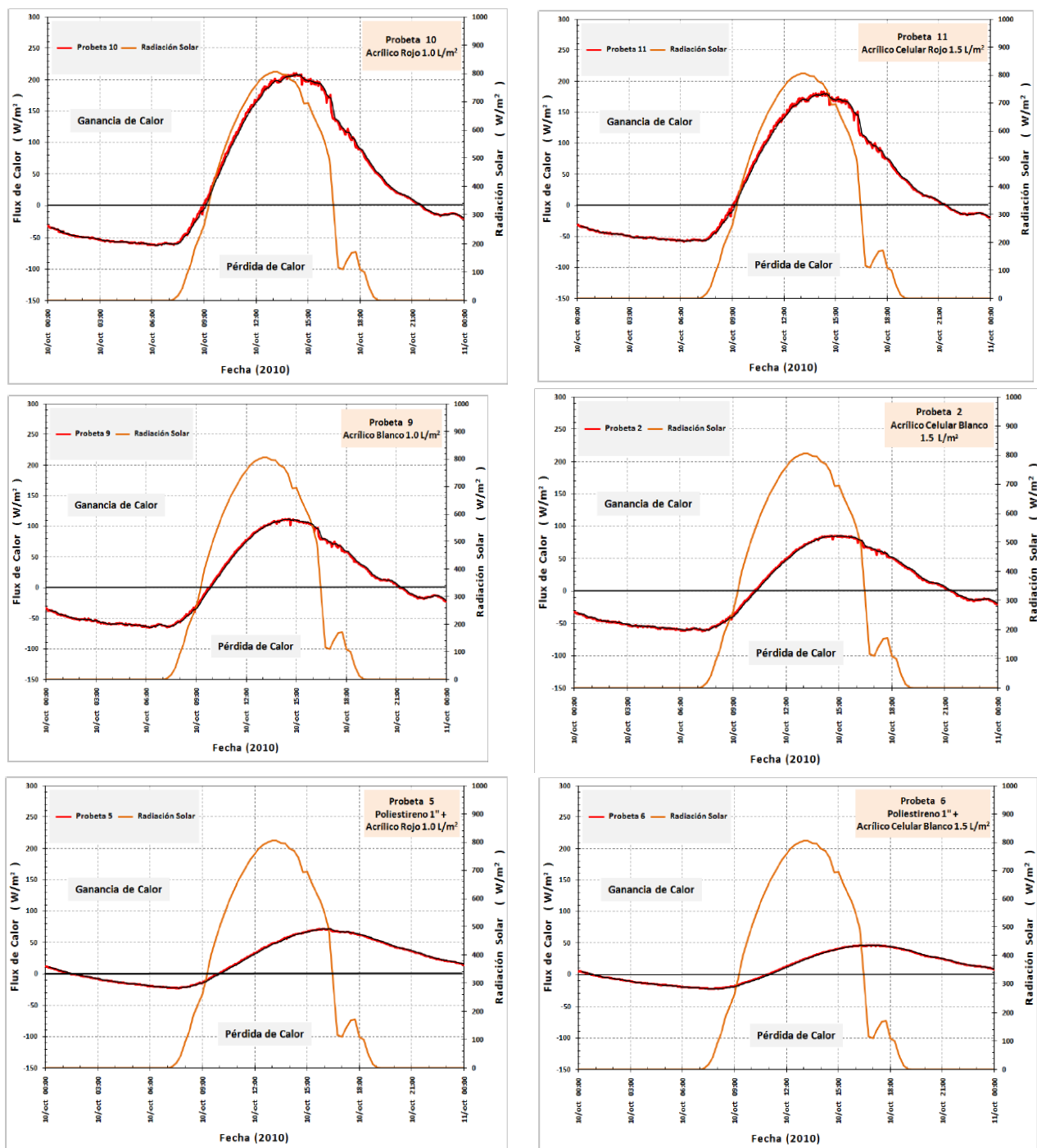


Fig. 8: Flux de calor calculado a través de probetas recubiertas con diferentes sistemas para techumbre.

La Tabla 6 y Figura 9 muestran la integración de los flux de calor individuales, para una semana completa. En esta se puede observar que el mayor flujo de calor ocurre en la probeta recubierta con un impermeabilizante acrílico terracota normal. Al usar un terracota celular se puede reducir el flujo de calor un 15.6%. Cambiar el color a blanco se traduce en una reducción del 50.9%. Añadir una pulgada de aislamiento térmico (EPS) reduce el flujo de calor en un 57% y usar un acrílico celular blanco lo reduce en 63.4%. El uso de aislamiento con acrílico celular blanco muestra la mayor reducción de flujo de calor, con un 74.5%.

Tabla 6: Flujo de calor integrado semana 10-16 de octubre de 2010

Probeta	Recubrimiento	Flujo de calor, 10-16 Oct 2010 MJ/m <sup>2</sup>	Reducción de flujo de calor %
10	Imp. acrílico terracota	29.5	0
11	Imp. acrílico celular terracota	24.9	15.6
9	Imp. acrílico blanco	14.5	50.9
5	1" EPS + Imp. acrílico terracota	12.7	57.0
2	Imp. acrílico celular blanco	10.8	63.4
6	1" EPS + Imp. acrílico celular blanco	7.5	74.5



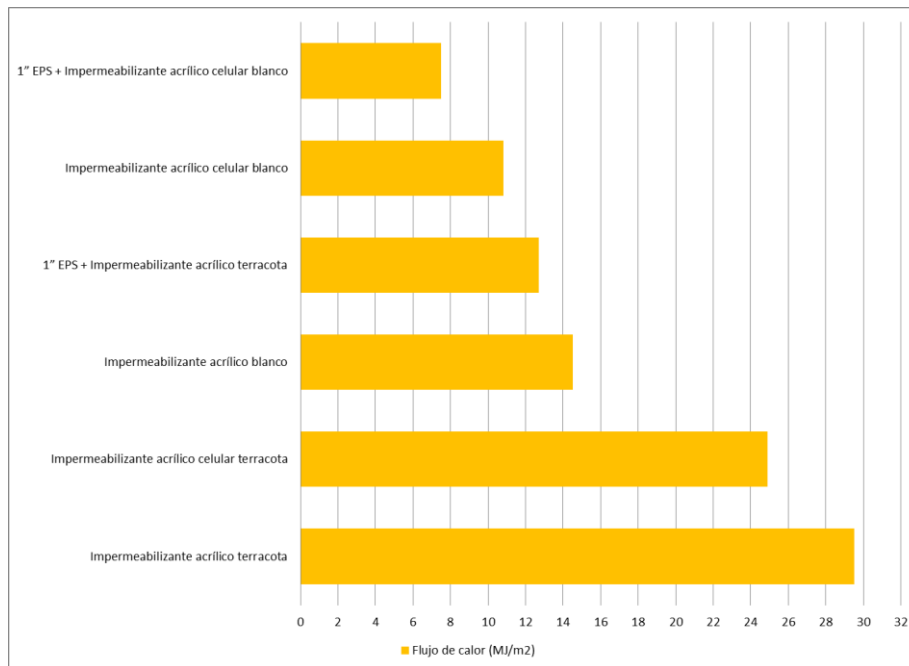


Fig. 9: Comparativa de flujo de calor integrado semana 10-16 de octubre de 2010

La Tabla 7 muestra temperaturas medidas simultáneamente a las 16:00 hs de la fecha 10 de octubre de 2010. Las temperaturas superficiales exteriores máximas las muestran las probetas recubiertas con impermeabilizantes terracota normales (42°C), con acrílico celular terracota, la temperatura se reduce 4°C, con acrílico blanco normal 10.5°C y con los acrílicos celulares blancos 13°C. La temperatura superficial interior del techo muestra el mismo patrón, solo variado en las probetas 5 y 6 las cuales tienen aislamiento térmico.

Tabla 7: Temperaturas medidas a las 16:00 hs el 10 de octubre de 2010

Probeta	Recubrimiento	T <sub>ext</sub> °C	T <sub>s ext</sub> °C	T <sub>s int</sub> °C	T <sub>int</sub> °C
10	Imp. acrílico terracota	32.5	42	35.5	19
11	Imp. acrílico celular terracota	32.5	38	31.5	19
9	Imp. acrílico blanco	32.5	31.5	29.0	19
5	1" EPS + Imp. acrílico terracota	32.5	42	26.0	19
2	Imp. acrílico celular blanco	32.5	29	25.5	19
6	1" EPS + Imp. acrílico celular blanco	32.5	29	24.0	19

## 5. DISCUSIÓN

Los resultados de las pruebas de propiedades ópticas muestran que las MSPH cuando se encuentran dispersas en un medio translucido como la resina acrílica usada en la fabricación de impermeabilizantes elastoméricos, esparcen la radiación visible e infrarroja solar (280 a 2500 nm) en mayor proporción que las cargas minerales comúnmente usadas en dichos recubrimientos, y esparcen la radiación infrarroja solar en mayor proporción que los pigmentos blancos, de molienda optimizada para pinturas e impermeabilizantes. Este fenómeno se comprobó también mediante la medición experimental de flujo de calor a través de losas de concreto.

La dispersión de la radiación electromagnética por partículas esféricas es explicado por la Teoría de Mie. Esta teoría indica que la dispersión de radiación electromagnética por una esfera, depende del índice de refracción y tamaño de la partícula. De acuerdo con dicha teoría, los tamaños de partícula óptimos para que un pigmento disperse una determinada longitud de onda equivalen a la mitad de la longitud de onda a dispersar. Por lo tanto, para la dispersión de radiación visible, el diámetro de partícula óptimo estaría entre 250 y 400 nm, mientras que el diámetro de partícula óptimo para dispersar radiación infrarroja solar estaría entre 450 y 1,250 nm. Las MSPH tienen tamaños medios de partícula mucho mayores a estos (20,000 a 80,000 nm), además de índices de refracción relativamente bajos y muy parecidos a los de la resina. Debido a ello, la dispersión de radiación visible e infrarroja mostrado por los

recubrimientos con MSPH, utilizadas en este experimento, no cumplen con la teoría de Mie. Otra indicación de que el mecanismo de dispersión de radiación de las MSPH es distinto al de los pigmentos convencionales, es el hecho de que sin importar su tamaño de partícula, todas las MSPH dispersaron la radiación similarmente en los mismos rangos de longitud de onda, variando solo la magnitud de dicha dispersión.

El índice de refracción de la cubierta de las MSPH es muy similar al de la resina usada para la fabricación de pinturas, por lo cual la radiación electromagnética prácticamente no se desvía al pasar de la resina a la cubierta de la microesfera. Por ello, las MSPH dispersas en una resina con índice de refracción similar, se comportan como burbujas de aire, formando una estructura que se comporta ópticamente como una espuma (Fig. 10).

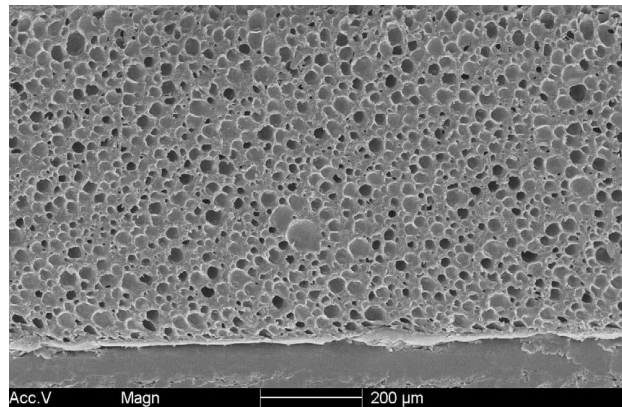


Fig. 10: Corte transversal de una pintura acrílica con 40% en volumen de MSPH de 20 µm de diámetro.

De acuerdo con Vera, *et al.*, 2001, las espumas transparentes no existen, debido a la multitud de interfaces gas-líquido en las cuales la radiación electromagnética se refleja o refracta. Debido al cambio de índice de refracción entre el medio y el aire, los efectos múltiples de esparcimiento son inevitables. También concluyeron que la longitud de onda esparcida por una espuma es independiente del tamaño de partícula de las burbujas y solo dependiente de la naturaleza del medio líquido y su fracción volumétrica. La magnitud del esparcimiento de radiación electromagnética en espumas es inversamente proporcional al tamaño de la burbuja, puesto que para la misma fracción volumétrica de aire, existen mucho más interfaces reflectivas/refractivas en espumas con burbujas de diámetro más pequeño.

Este mecanismo explica los comportamientos de reflectancia espectral en el rango solar de las dispersiones de MSPH en resina acrílica.

## 6. CONCLUSIONES

Este estudio muestra los resultados de la evaluación óptica y experimental de diferentes recubrimientos para techo, así como la evaluación de propiedades ópticas de diferentes dispersiones de MSPH, cargas minerales y pigmentos en resina acrílica similar a la usada en la fabricación de impermeabilizantes elastoméricos, con el fin de determinar el efecto de las MSPH en la reflectancia solar y emitancia térmica de recubrimientos para techumbre.

De la medición de la reflectancia solar y emitancia térmica de impermeabilizantes elastoméricos comerciales en México, con y sin MSPH, se concluye que aquellos que contienen MSPH muestran una reflectancia solar más alta y que la mayor diferencia en esta reflectancia se encuentra en el rango infrarrojo de la radiación solar. Esto se observó en impermeabilizantes del mismo color tanto blancos como terracota.

No se encontraron diferencias significativas entre las emitancias térmicas de los impermeabilizantes elastoméricos comerciales con y sin MSPH.

De la medición de la reflectancia solar y emitancia térmica de dispersiones de MSPH, cargas minerales y pigmentos, se concluye que las dispersiones con MSPH muestran una reflectancia espectral sostenida tanto en el rango visible como en el infrarrojo de la radiación solar, y que la longitud de onda dispersada es independiente del tamaño de partícula de la

MSPH. La dispersión de MSPH con diámetro 20 µm muestra la mayor reflectancia en todo el espectro solar. Esto se debe al comportamiento óptico de las espumas formadas por las MSPH, para la misma fracción volumétrica las MSPH de menor tamaño de partícula, producen más huecos que las MSPH de diámetro mayor, lo que genera más interfaces reflectivas/refractivas. La dispersión de carbonato de calcio muestra baja reflectancia espectral en el rango visible, y aún más baja en el rango infrarrojo solar, esto se debe a su bajo índice de refracción y tamaño de partícula. La dispersión de bióxido de titanio muestra una alta reflectancia en el rango visible, pero una caída dramática en el rango infrarrojo solar. Esto se debe a que su tamaño de partícula está optimizado para dispersar la radiación visible, no la infrarroja.

No se encontraron diferencias significativas entre las emittancias térmicas de las diferentes dispersiones de MSPH, cargas y pigmentos.

De las mediciones de flujo de calor a través de losas de concreto recubiertas con diversos sistemas para techumbre, se concluye que los valores son consistentes con lo observado en las propiedades ópticas. Los impermeabilizantes acrílicos celulares que incluyen MSPH en su formulación mostraron consistentemente menores temperaturas y flujos de calor que aquellos impermeabilizantes acrílicos convencionales del mismo color.

Existen otras tecnologías para incrementar la reflectancia solar de recubrimientos para techos, como los pigmentos reflectores de infrarrojo, incrementar la carga de bióxido de titanio en la formulación o usar bióxido de titanio con mayor tamaño de partícula. El uso de MSPH sustituyendo cargas minerales tiene ventajas técnicas y económicas si se le compara contra todas las tecnologías antes mencionadas. Las MSPH, a diferencia de los pigmentos reflectores de infrarrojo y las mayores cargas de bióxido de titanio, se pueden utilizar en cualquier color de recubrimiento, y además su costo de aplicación es más bajo. El bióxido de titanio de partícula mayor puede usarse en cualquier color, puesto que no dispersa luz visible, pero su alto costo volumétrico (16-20 USD/L) lo vuelve prohibitivo para la mayoría de los recubrimientos comerciales para techo. Las MSPH tienen costos volumétricos que se encuentran en el rango de algunas cargas minerales (0.8-1.2 USD/L), esto les da una gran ventaja competitiva en costo contra las tecnologías basadas en pigmentos.

La conclusión final de éste estudio es que la inclusión de MSPH en formulaciones de recubrimientos para techo de cualquier color permite incrementar su reflectancia solar a un costo muy competitivo. Esto se debe a que las MSPH esparcen la radiación solar en el rango infrarrojo más eficientemente que las cargas minerales y más eficientemente que el bióxido de titanio con tamaño de partícula optimizado para uso en pinturas e impermeabilizantes.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Akbari, H. (2003). Measured energy savings from the application of reflective roofs in two small non-residential buildings. *Energy*, 28, 953-967
- Akbari, H.; Konopacki, S.; Pomerantz, M. (1999). Cooling energy savings potential of reflective roofs for residential and commercial buildings in the United States. *Energy*, 21, 391-407.
- Akbari, H.; Menon, S.; Rosenfeld, A. (2009). Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO<sub>2</sub>. *Climate Change*, v.95.
- ASTM. (2010). ASTM C1371 - 04a(2010)e1 Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emisometers. *Book of standards*, v.04.06
- ASTM. (2012). ASTM E903 - 12 Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres. *Book of standards*, v.12.02
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2001). Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001. Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2011). Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2001. Eficiencia energética en edificaciones.- Envolvente de edificios para uso habitacional.

- Jo, J.H.; Carlson J.D.; Golden J.S.; Bryan, H. (2010). An integrated empirical and modeling methodology for analyzing solar reflective roof technologies on commercial buildings. *Building and Environment*, 45, 453-460.
- Levinson, R.; Akbari, H.; Berdahl, P.; Wood, K.; Skilton, W.; Petersheim, J. (2010). A novel technique for the production of cool colored concrete tile and asphalt shingle roofing products. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 94, 946-954.
- Levinson, R.; Akbari, H.; Reilly, J.C. (2007a). Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings. *Building and Environment*, 42, 2591-2605
- Levinson, R.; Berdahl, P.; Akbari, H.; Miller, W.; Joedicke, I.; Reilly, J.; Suzuki, Y.; Vondran, M. (2007b). Methods of creating solar-reflective nonwhite surfaces and their application to residential roofing materials. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 91, 304-314
- Lucero-Alvarez, J.; Martín-Domínguez, I.R.; Rubin-Zacarias, F.R.; Ledezma-Gallegos, A.; Alarcón-Herrera, M.T. (2011). Experimental comparison of heat flow through concrete roofing flagstones with different coatings. *ISES Solar World Congress*. Kassel, Alemania. Ago. 28 – Sep 2, 2011.
- Synnefa, A.; Santamouris, M.; Apostlakis, K. (2007). On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment. *Solar Energy*, 81, 488-497.
- Vera, M.; Saint-Jalmes, A.; M.; Durian, D. (2001). Scattering optics of foam. *Applied Optics*, vol. 40, No.24, 4210-4214

# 13th International Coatings Congress

## PROGRAM

Monday  
September 16, 2013

Tuesday  
September 17, 2013

Wednesday  
September 18, 2013

REGISTRATION

### TECHNICAL CONFERENCES

09.16.2013 – Monday

7:00 - 19:00 *On-site registration and badges pick-up*

8:00 - 8:30 **Opening Session**

8:30 - 9:30 **PLENARY** ANTONIO CARLOS LACERDA - Senior Vice President for South America at BASF / President of ABRAFATI 's steering board

9:30 - 10:00 *Coffee break*

Time	Room 1 Resins and Emulsions	Room 2 Pigments	Room 3 Additives	Room 4 Solvents and Biocides	Room 5 Resins and Emulsions	Room 6 Environment and Other Themes
10:00 - 10:50	<b>Ritesh Nair</b> <i>BASF</i> BASF specialty monomers functional solutions for the coatings market	<b>Robert Maul</b> <i>ECKART</i> Liquid metal effects - realized by high-end coatings	<b>Yaw Aidoo</b> <i>ELEMENTIS SPECIALTIES</i> Advances in waterborne rheology	<b>Gerson Chagas Ferreira</b> <i>REICHHOLD</i> Oven-cured water-based aluminum finish coatings gaining traction among epoxy-modified water-based technologies and acrylic emulsions	<b>Hugo Tomás De Notta</b> <i>MULTIQUIMICA S.A.</i> New elastomeric binder with dirt pick up resistance	<b>Roberto Cavalieri, Derek Dennis, Alessandro Minesso</b> <i>ALLNEX</i> Reduced anti-corrosion pre-treatment
10:55 - 11:45	<b>Sean Arsenault, James Feorino, Fabio LF Paganini</b> <i>ARKEMA</i> Platform of water-based PVDF fluoropolymer	<b>Anaís Bialy</b> <i>CLARIANT</i> Easily dispersible organic pigments	<b>Jim Reader, Kuo Tsai G. Lai</b> <i>AIR PRODUCTS</i> Predicting defoamer performance in coating formulations	<b>Debora Takahashi, Vanessa Sarra, Fernando Mesquita</b> <i>DOW BRASIL SUDESTE</i> Methyl Benzisothiazolone (MBIT), a new in-can preservation biocide for decorative paints	<b>Pierre Hennaux, Nemesio Martinez-Castro, Jose P. Ruiz, Michael D. Rhodes</b> <i>RHODIA SOLVAY GROUP</i> Specialty monomers for enhanced functionality in emulsion polymers	<b>Francisco Ramón Rubín Zacarias, Ignacio Ramiro Martín Domínguez</b> <i>AKZO NOBEL</i> Optimization of reflective properties of cool roofs using hollow polymeric microspheres
11:45 - 13:15	<i>Lunch</i>					
13:15 - 14:05	<b>Vanesa García-Pacios, Manuel Colera, Victor Costa, José Miguel Martín-Martínez</b> <i>UBE LATIN AMERICA / UNIVERSIDADE DE ALICANTE</i> Use of polyol mixtures including polycarbonate 1 diol for improving performance of coatings obtained from waterborne polyurethane dispersions	<b>Anette Lork, Shannon A. Morrison, Markus Mölle</b> <i>SOUTHERN CLAY PRODUCTS</i> Multicolor paints with improved stability and performance	<b>Kevin McCreight, Joe Zhou, Josh Seeley</b> <i>EASTMAN CHEMICAL COMPANY</i> Cellulose - based performance additives for OEM high solids solventborne basecoats and clearcoats	<b>Alexandre Giardino Carmello, Lang Nguyen, Josh Prenetta</b> <i>CABOT</i> New EMPEROR® 1200 and 1600 carbon blacks with softbead™ technology: easily dispersible performance pigments for solvent-based coatings	<b>Matthias Lubik</b> <i>BRUEGGEMANN</i> The road to green coatings - VOC and formaldehyde free initiator systems for emulsion polymerization	<b>Daniilo O. Malavolti</b> <i>ANVER – Assoc. Pintores Industriais</i> Innovations in industrial coatings
14:10 - 15:00	<b>Bas van Leeuwen, Chris Schaekens, Paul Cordfunke</b> <i>CORBION PURAC</i> Improved alkyd coating resins from carbohydrate derived, biobased building blocks	<b>Lars Kirmaier</b> <i>HEUBACH</i> Predispersed dry pigment preparations - A masterpiece in sustainability	<b>Jean Meng, Charlene Guo</b> <i>DUPONT</i> Novel application of fluorsurfactant in water borne wood coatings	<b>Leandro Bizarro da Rocha</b> <i>IMERYS</i> EcoFlat® - New-generation matting agent for decorative paints	<b>Miriam Peralta, Darlene Rota, Kevin Quinn, Thomas Zagore</b> <i>LUBRIZOL CORPORATION</i> New developments in elastomeric masonry coatings	<b>Fernando Codelo Nascimento, Celina Lopes Duarte</b> <i>FAC. SENAI DE TECNOLOGIA AMBIENTAL AND IPEN/USP</i> Treatment of effluents from ionizing radiation industrial, automotive and refinish coatings
15:00 - 18:10	<b>ABRAFATI-RadTech South America Seminar</b>					
19:00 - 20:00	<b>PLENARY</b> - Henrique Meirelles - Ex-Presidente do Banco Central					

PLENARY SESSIONS

POSTER SESSION

ABRAFATI-RADTECH  
SEMINAR

REGISTRATION



**13ª Exposição Internacional  
de Fornecedores para Tintas**

*13<sup>th</sup> International Exhibition of Coatings Industry Suppliers*

**CATÁLOGO OFICIAL**

*OFFICIAL CATALOGUE*

**16 a 18 setembro | 11h às 20h**  
*September 16<sup>th</sup> to 18<sup>th</sup> | 11 a.m. - 8 p.m.*

**Transamerica Expo Center**  
**São Paulo - Brasil**