

## **Comportamiento del sistema impermeabilizante de espuma rígida de poliuretano en cubiertas de La Habana.**

*Behavior of the waterproofing system of rigid polyurethane foam roof in Havana.*



### **Ing. Midalis González Acevedo**

Ingeniera civil

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, CUJAE. Cuba.

Profesor- Instructor

Centro de Estudios de Conservación, Restauración y Museología, ISA

Teléfono: 72082047

E-mail: [midalis@isa.cult.cu](mailto:midalis@isa.cult.cu)



### **Ing. María Luisa Rivada Vázquez**

Ingeniera civil

Doctora en Ciencias Técnicas

Profesora titular de la Facultad de Ingeniería Civil, Instituto

Superior Politécnico José Antonio Echeverría, CUJAE. Cuba

Presidenta del Comité Técnico de Normalización del MICONS

No. 7 Impermeabilización.

Teléfono: 72663842

E-mail: [rivada@civil.cujae.edu.cu](mailto:rivada@civil.cujae.edu.cu)

Recibido: 10-03-16

Aceptado: 28-10-16

### **Resumen:**

El presente artículo es la continuación de uno precedente denominado: "Caracterización de la espuma rígida de poliuretano expandido como impermeabilizante de cubiertas". Este trata sobre el comportamiento del sistema, mediante la descripción de las lesiones recurrentes y sus posibles causas a partir de una muestra de cubiertas impermeabilizadas con esta tecnología en La Habana, en correspondencia con la documentación técnica y datos recopilados en observaciones realizadas en las condiciones ambientales cubanas. Se concluye que las lesiones ocurren por la vulnerabilidad del sistema a diferentes agentes y por defectos durante la aplicación debido al incumplimiento de la normativa tecnológica. Las lesiones se agrupan de acuerdo a la capa donde ocurren, o sea, lesiones de la membrana protectora y lesiones de la espuma. La disgregación producida por la radiación ultravioleta es la lesión más frecuente debido a la vulnerabilidad del sistema y entre las lesiones de mayor incidencia por incumplimiento de la normativa tecnológica se encuentran las ampollas, irregularidades superficiales, grietas y descuelgue.

**Palabras clave:** Cubierta, Impermeabilización, Espuma rígida de poliuretano, Lesión, Membrana elastomérica.

### **Abstract:**

This article is the continuation of a preceding one called: "Characterization of rigid polyurethane foam expanded as a roof waterproofing". This is about the behavior of the system, by describing recurring injuries

and their possible causes from a sample of waterproofed covered with this technology in Havana, in correspondence with the technical documentation, and information collected in observations made in Cuban environmental conditions. It is concluded that injuries occur because of the vulnerability of the system to different agents and defects during application due to the failure of technological standards. Lesions are grouped according to the layer that is occurring, such as the protective membrane lesions and lesions of the foam. The disintegration caused by ultraviolet radiation is the most common due to the vulnerability of the system, and injuries of increased incidence injury breach of technological rules are blisters, surface irregularities, cracks and sagging.

**Keywords:** Roof, Waterproofing, Rigid polyurethane foam, Injury, Elastomeric membrane.

## Introducción:

La espuma rígida de poliuretano expandido con  $45 \text{ Kg/m}^3$  de densidad se destaca por ser un material económico, aislante, fácil de colocar y con más del 90 % de sus celdas cerradas, lo que permite que pueda ser empleado como sistema impermeabilizante de cubiertas, además de otras bondades técnicas descritas en artículo precedente. Sin embargo, es poco resistente a las tensiones internas, la abrasión y las radiaciones ultravioleta (UVA) de la luz solar, por lo que es necesario protegerlo con una membrana elastomérica de base acrílica, que por su función debería tener un buen comportamiento a la intemperie, pero en aplicaciones realizadas sobre cubiertas de La Habana, el sistema no se ha comportado como se esperaba, al observarse varios tipos de lesiones como: disgregación, grietas, desprendimientos, ampollas, superficies irregulares y descuelgue a menos de un año de ser aplicado, cuando se espera que sean más de diez, según la durabilidad prevista por el fabricante. En este trabajo se define la lesión como toda perturbación que reduzca el efecto impermeabilizante, la vida útil y/o estética del sistema, así como dificulte el correcto funcionamiento de la cubierta.

## LESIONES DE LA MEMBRANA PROTECTORA

### Disgregación

El sistema pierde el color en gran parte por la acción de los rayos ultravioleta de la luz solar sobre la membrana elastomérica, lo que denota una despolimerización que termina perforando la membrana, exponiendo la espuma a los agentes del intemperismo. La exposición de la espuma se acelera si no se ha logrado alcanzar el espesor adecuado, por una deficiente aplicación y/o mala homogeneización del vehículo o pigmento de la membrana. La secuencia de imágenes muestra el inicio de la decoloración de la membrana elastomérica y posteriormente como se agudizan los daños sobre ella y más tarde sobre la espuma (Figuras 1, 1.1, 1.2 y 1.3).

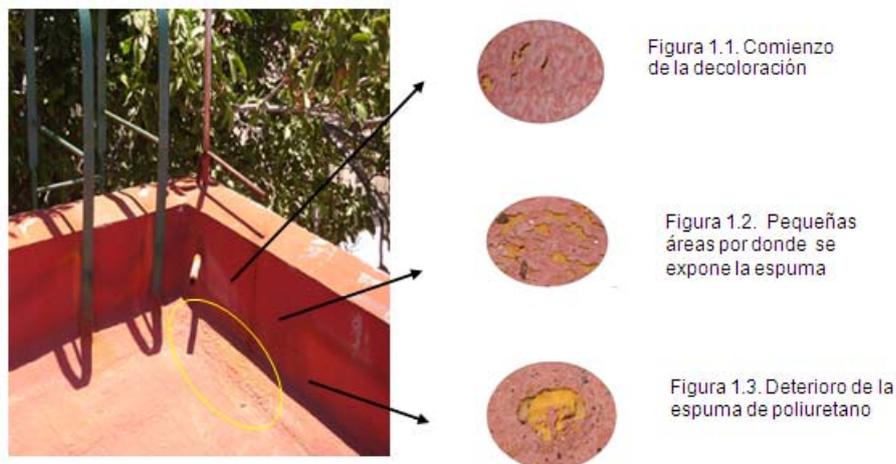


Figura 1. Decoloración y disgregación de la membrana en la unión entre la losa y el pretil. Obra. Facultad Arte de los Medios de Comunicación Audiovisual. Fotos de las autoras.

La humedad suele estar propiciada por charcos que permanecen sobre tragantes obstruidos, en oquedades de cubiertas mal diseñadas o ejecutadas y en zonas de salideros o desbordamientos de conductos y depósitos (Figuras 2, 2.1 y 3).



Figura 2. Fugas de agua en instalaciones hidráulicas.  
Obra: Facultad Arte de los Medios de Comunicación Audiovisual  
Fotos de las autoras.



Figura 2.1.  
Reblandecimiento y crecimiento de moho



Figura 3. Agua estancada en la cubierta sur de la Escuela Nacional de Ballet.  
Foto de las autoras.

La humedad constante provoca el reblandecimiento del sistema, empezando por despegar la membrana elastomérica protectora. También puede causar la aparición de fisuras por la tensión que provoca la diferencia de dilatación térmica en la frontera entre zonas secas y húmedas, ya que estas últimas conservan una temperatura mucho más baja.

Para evitar los depósitos sobre la cubierta debe velarse por la correcta evacuación del agua hacia las zonas o puntos preestablecidos. Antes de la aplicación, los sumideros de gárgolas y bajantes pluviales deben obstruirse con un tapón bien ajustado, pero engrasado para facilitar su retiro una vez terminado el trabajo. Es evidente que deben eliminarse las fugas en las instalaciones hidráulicas o sanitarias ubicadas sobre o en las proximidades del sistema antes de la aplicación.

### Vegetación indeseable

Es prácticamente imposible evitar la deposición de hojas y deyecciones de aves sobre las cubiertas en la ciudad. Así se forma un primer sustrato que se va enriqueciendo con los restos de las primeras poblaciones de musgos que se asientan en él, dando comienzo a un proceso que puede llegar al crecimiento de arbustos cuyas raíces son capaces de ejercer una acción, no solo enzimática, sino también mecánica, sobre la blanda espuma de poliuretano, abriendo conductos por donde se filtra el agua hacia la cubierta que se quiere proteger. Este proceso puede interrumpirse solo si se logra evitar la permanencia del agua y sustratos fértiles sobre la cubierta, mediante un frecuente saneamiento (Figuras 4 y 4.1).



Figura 4. Agua estancada sobre la cubierta. Obra: Hospital Hermanos Amejeiras. Foto de las autoras.



Figura 4.1. Detalle de crecimiento vegetal sobre la membrana protectora del sistema impermeable.

## Manchas

Una de las causas es el depósito de sales por la evaporación de agua en zonas deprimidas o de escurrimiento de salideros en las instalaciones y tanques de reserva, formando capas que pueden llegar a tener un espesor y rugosidad considerables que afectan la correcta evacuación (Figura 5).



Figura 5. Depósito de sales en cubierta.  
Obra Escuela Nacional de Ballet.  
Foto de las autoras.

Otras pueden ser ocasionadas por deposición de óxidos de elementos metálicos no protegidos que se encuentran sobre el sistema impermeabilizante y expuesto a los efectos del deterioro de los factores ambientales, afectando la estética de la cubierta (Figura 6 y 6.1).



Figura 6. Mancha de óxido de hierro.  
Obra: Escuela Nacional de Ballet.  
Fotos de las autoras.



Figura 6.1 Manchas de óxido producido por la base de un objeto de hierro colocado sobre la cubierta.  
Obra Escuela Nacional de Ballet.

## LESIONES DE LA ESPUMA

### Disgregación

Una vez destruida la capa elastomérica protectora y expuesta la espuma, ésta pierde alrededor de 1mm de espesor por año, hasta llegar a su destrucción total, de acuerdo a lo comprobado en esta investigación. Para evitar la degradación y garantizar la conservación del sistema es necesario limpiar y retirar mediante medios mecánicos la zona afectada, volver a reponer la espuma de poliuretano y aplicar una nueva capa de membrana elastomérica (Figura 7, 7.1 y 7.2).

Ing. Midalis González Acevedo, Ing. María Luisa Rivada Vázquez. Comportamiento del sistema impermeabilizante de espuma rígida de poliuretano en cubiertas de La Habana.



Figura 7.1 Deterioro del sistema impermeable en la zona de la cresta de la teja acanalada de asbesto cemento

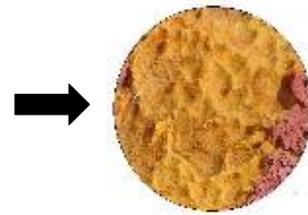


Figura 7.2 Degradación de la espuma alcanza varios milímetros de profundidad con respecto al nivel de la capa protectora.

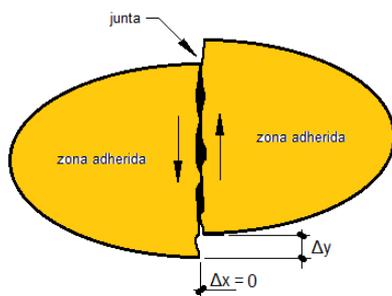
Figura 7. Deterioro del sistema por la radiación ultravioleta  
Obra. Almacenes Farma – Cuba  
Fotos: Ing. Yoanis Rivero.

### Grietas por movimientos relativos entre elementos de la estructura

La aplicación del sistema sobre juntas entre elementos prefabricados puede presentar grietas debido a movimientos relativos del sustrato. En estos casos deberá cubrirse la junta con una banda plástica antiadherente de unos 30 cm de ancho, antes de aplicar sobre ella el poliuretano, para permitir que las deformaciones de la capa de espuma, que deben ocurrir como respuesta a las tensiones de corte por el pequeño movimiento relativo entre las piezas del basamento, se distribuyan en el ancho de la capa antiadherente, de manera que en ninguna de las secciones aparezca una deformación unitaria de cizallamiento superior a la que provoca la ruptura de la espuma rígida, tal como se ilustra en los siguientes esquemas (Figura 8).



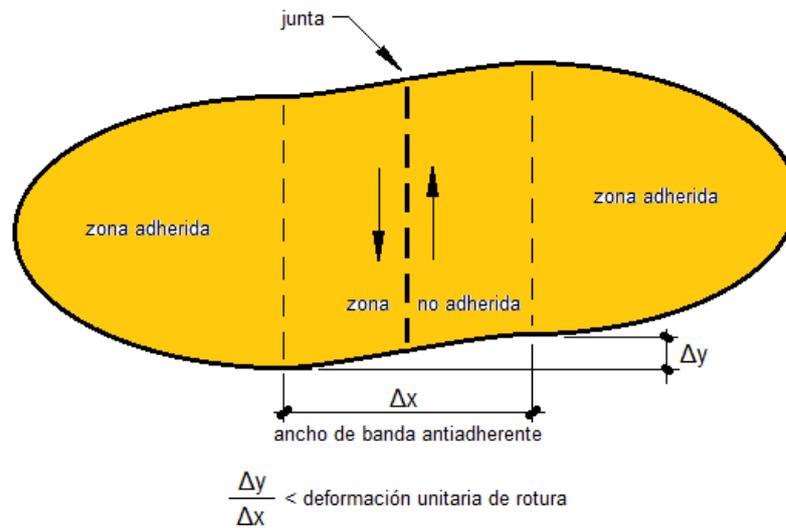
Esquema 1. Solución en juntas entre elementos fabricados con bandas separadoras antiadherentes.



Esquema 2. Vista en planta de junta sin banda separadora antiadherente

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \infty \Rightarrow \text{Deformación unitaria de cizallamiento teóricamente infinita}$$

Ing. Midalis González Acevedo, Ing. María Luisa Rivada Vázquez. Comportamiento del sistema impermeabilizante de espuma rígida de poliuretano en cubiertas de La Habana.



Esquema 3. Vista en planta de junta con banda separadora antiadherente



Figura 8. Grietas en una cubierta prefabricada. Obra: Hospital Hermanos Ameijeiras Foto de las autoras.

### Desprendimiento del sustrato

Cualquier producto aplicado sobre una superficie no adherente como es el caso de revoques o impermeables degradados, corre el riesgo de desprenderse (Figura 9 y 9.1).



Figura 9. Desprendimientos del revoque en el pretil. Obra: Obra Escuela Nacional de Ballet Fotos de las autoras.



Figura 9.1. Desprendimiento del revoque junto con el sistema impermeable.

Obviamente, para evitar desprendimientos como los ilustrados en las figuras, los sustratos inestables deben ser consolidados o restituidos antes de recibir la aplicación.

### **Desprendimientos de la espuma**

El sistema se despegaba del sustrato cuando tiene un espesor mayor al indicado por la normativa técnica vigente. La suciedad entre la base y la espuma puede afectar la adherencia de la interfase y provocar también el desprendimiento del sistema (Figura 10).



Figura 10. Pérdida de adherencia de la espuma por restos de material asfáltico  
Obra. Café Teatro Bertolt Brecht  
Foto de las autoras

### **Ampollas**

Las ampollas, son protuberancias o montículos de diversas dimensiones que se levantan con una distribución aleatoria en el área impermeabilizada de la cubierta. Contienen en su interior una mezcla de gases como el CO<sub>2</sub> y los utilizados como propelentes para la fabricación de la espuma. Al ser pinchadas las ampollas, escapan los gases con un silbido característico, por lo que puede decirse que más bien se trata de burbujas formadas por la emanación de gases que permanecen a cierta presión bajo el espesor de la capa de espuma, y no dentro de la masa de ésta como pudiera pensarse.

Durante esta investigación se ha observado que las ampollas se forman con más frecuencia bajo la espuma de poliuretano proyectado sobre techos de láminas metálicas, e invariablemente se nota con claridad que bajo las ampollas el recubrimiento polimérico de las planchas, cuando existe, se muestra químicamente alterado, así como también el propio metal de la plancha, por una aparente reacción entre el contenido de la ampolla y la superficie que la limita por debajo.

Sin embargo, las ampollas suelen manifestarse sobre cualquier tipo de sustrato que haya estado húmedo o saturado durante la aplicación de la espuma. La reacción del poliisocianato con el agua, ya sea ambiental, contenida en el sustrato o condensada sobre él, propicia incompatibilidad química que da lugar a alteraciones en la estructura celular de la mezcla, interfiriendo en el tiempo de fraguado y afectando finalmente la adherencia, así como también el polvo, la cera, grasas y aceites.

Para garantizar la adherencia en los sustratos metálicos debe lavarse la superficie con ácido fosfórico y, después de seca, aplicar una imprimación de pintura elastomérica disuelta en agua al 30%, esperar 24 horas como mínimo y después proyectar la espuma (Figuras 11, 11.1 y 11.2).



Figura 11. Ampollas sobre cubierta metálica.  
Obra: Poligráfica Federico Engels.  
Fotos de las autoras.



Figura 11.1. Detalle



Figura 11.2.  
Corrosión localizada  
debajo del área  
ocupada por una  
ampolla

El funcionamiento de la máquina espumadora debe verificarse antes de la proyección, controlando la presión y simultaneidad de salida de los dos componentes de la mezcla, puesto que si se adelanta la salida de alguno de ellos, al reaccionar con agua, superficial o ambiental, se producen alteraciones químicas que dan origen a estructuras celulares granulosas que afectan la adherencia del sistema, además de que este tipo de formación es propenso a acumular polvo y materia orgánica, que propician el crecimiento de vegetación (Figura 12).

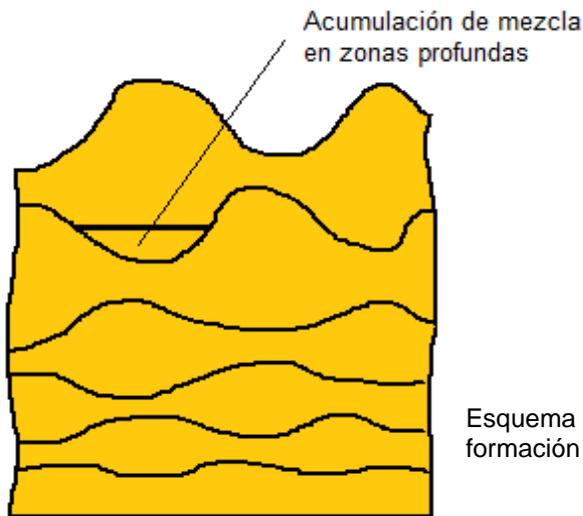


Figura 12. Superficie granulosa.  
Obra: Poligráfica Federico Engels.  
Foto de las autoras.

### Grandes irregularidades superficiales

Las irregularidades de la primera capa, por pequeñas que sean, pueden repercutir negativamente en la estructura del espesor total, ya que, aunque se aplique de modo uniforme, si la mezcla se deposita sobre una superficie irregular, fluirá antes de iniciar la espumación hacia zonas más profundas, donde se acumulará la espuma originando capas extremadamente altas. Véase el esquema 4. El corrimiento y acumulación de mezcla en zonas profundas se evita si tiene ya una consistencia cremosa.

Ing. Midalis González Acevedo, Ing. María Luisa Rivada Vázquez. Comportamiento del sistema impermeabilizante de espuma rígida de poliuretano en cubiertas de La Habana.



Esquema 4. Ilustra la causa de la formación de grandes irregularidades.

### Descuelgue

La influencia de la temperatura sobre la espumación es determinante en la proyección *in situ*, dado que solo se proyectan capas de 15 mm de grosor, para que garanticen la estabilidad dimensional en función de la estructura de la celdilla formada. La mezcla se contrae cuando pierde rápidamente su calor al contacto con superficies frías, o crece extremadamente cuando el contacto se produce sobre superficies calientes (Figura 13).



Figura 13. Descuelgue de las capas de espuma.  
Obra: Instituto de Investigaciones de la Cultura Juan Marinello.  
Foto de las autoras.

Por lo anterior es aconsejable cumplir con las regulaciones medio ambientales y acerca de las condiciones del sustrato: la humedad relativa del aire y el soporte en el momento y lugar de la aplicación no deben ser superiores al 85 y 20% respectivamente; no debe espumarse a temperaturas por debajo de 5°C ni superiores a 40, puesto que se incrementa el consumo y puede afectar la adherencia al sustrato; y la velocidad del viento debe ser inferior a 30 km/h para evitar arrastres del material hacia zonas alejadas de la aplicación, todo lo cual se establece en los documentos normativos UNE 92120 -2 /2M: 2003 y DITEC # 402(2012) declarados en la Bibliografía.

### Grietas en forma de media luna

Cuando se proyecta al aire libre se procuran capas de espuma no mayores de 15 mm de espesor para evitar contracciones. Para mayores espesores es preciso superponer capas, cuidando que entre la proyección de dos contiguas no transcurra más de 30 minutos, ni menos de 10, para respetar el tiempo de expansión de la capa anterior y evitar la formación de una "piel" de espumación, que afectaría la adherencia entre ellas, propiciando la aparición de grietas en forma de media luna. La mezcla debe contener la cantidad adecuada de activador para que la reacción y la reticulación de la espuma sean rápida (Figura 14 y 14.1).



Figura 14. Grieta en forma de media luna.  
Obra: Instituto de Investigaciones de la Cultura Juan Marinello.  
Fotos de las autoras.



Figura 14.1 Desprendimiento del sistema donde se localizaba la grieta de media luna.

Para evitar las deposiciones de sedimentos, se deben realizar inspecciones periódicas a la cubierta como parte de las acciones de mantenimiento en las que se limpie y recoja la basura trasladada por la acción del viento, además de eliminar plantas indeseables que dañan al sistema con sus raíces (Figura 15).



Figura 15. Vegetación por acumulación de sedimentos fértiles y humedad en la cubierta.  
Obra: Escuela Nacional de Ballet.  
Foto de las autoras.

**Conclusiones:**

Las lesiones se agrupan de acuerdo a la capa donde ocurran (Tablas 1 y 2).

Tabla.1 Resumen de las lesiones observadas en la membrana elastomérica de base acrílica protectora del sistema impermeable

Lesión	Causa	Origen	Efecto
Disgregación	Radiación ultravioleta y espesor reducido	Medio ambiente y aplicación inadecuada	Desprotección de la espuma
Crecimiento vegetal	Sustratos húmedos	Falta de mantenimiento	Dificulta evacuación pluvial
Grietas	Inestabilidad morfológica y dimensional de la espuma y su soporte	Variaciones de humedad y temperatura	Penetración de los agentes del intemperismo
Manchas	Estructuras o elementos de hierro no protegidos, en contacto o sobre la membrana. Precipitación de sales contenidas en el agua	Medio ambiente. Fugas de instalaciones en cubierta	Estético

Tabla 2. Resumen de las lesiones observadas sobre la espuma de poliuretano

Lesión	Causa	Origen	Efecto
Disgregación	Penetración de la radiación ultravioleta por disgregación de la membrana protectora	Medio ambiental	Fallo del sistema
Grietas	Movimientos relativos entre elementos de la estructura	Estructural y medio ambiental	
Desprendimientos del sustrato	Sustrato inestable	Mala adherencia del sustrato	
Desprendimientos de la espuma	Suciedad del sustrato y espesores sobredimensionados	Tecnológico	
Ampollas	Humedad del sustrato durante aplicación	Tecnológico o ambiental	
Superficie granulosa	Desfase en la salida de los componentes de la mezcla desde la pistola	Tecnológico	Dificulta drenaje pluvial y propicia

Grandes irregularidades	Amplificación de pequeñas irregularidades iniciales por acumulación de mezcla en oquedades		acumulación de sedimentos
Descuelgue	Elevadas temperaturas del sustrato	Medio ambiental	Dificulta drenaje pluvial y propicia acumulación de sedimentos
Grietas en forma de media luna	No respeto a tiempo establecido entre aplicación de dos capas contiguas	Tecnológico	Fallo del sistema
Sedimentos y coloides	Falta de mantenimiento	Tecnológico	Dificulta drenaje pluvial

Las observaciones realizadas en obras en las que se aplicó la espuma rígida de poliuretano protegido por una membrana elastoméricas, constataron que la radiación ultravioleta de la luz solar es la principal causa de deterioro del sistema, empezando por decolorar la membrana elastomérica protectora hasta desintegrarla por despolimerización, lo que permite su posterior incidencia sobre la capa de espuma de poliuretano hasta provocar su destrucción.

Este sistema, es afectado por las aguas, blandas o duras, proveniente de la lluvia o instalaciones hidráulicas. Éstas pueden precipitar sales, deposiciones óxidos y propiciar crecimiento de vegetación sobre las cubiertas, que crean irregularidades que dificultan la evacuación, fomentando depósitos que se filtran por las fisuras abiertas por otras causas y destruyen el sustrato, que es la base de todo el sistema.

La pérdida de adherencia del sistema se relaciona con tres incumplimientos fundamentales de la normativa técnica: Excesiva humedad ambiental y del sustrato, excesivo espesor de la espuma y deficiente preparación del sustrato, que requiere ser saneado e imprimado antes de la aplicación sobre superficies metálicas.

El equipo de proyección debe ser ajustado antes del comienzo de la aplicación del sistema, para evitar desfasaje en la salida de alguno de los dos componentes de la mezcla reaccionante, lo que causaría la formación de superficies irregulares.

Debe limitarse el espesor de las capas de espuma a 15 mm para evitar contracciones.

El sistema en su conjunto es afectado fundamentalmente por las condiciones ambientales existentes en Cuba, la preparación de la superficie y por las condiciones de aplicación.

¿Cuáles son los factores que determinan la pérdida de la adherencia del sistema impermeabilizante sobre diferentes sustratos? En el tercer artículo: "Factores que afectan la adherencia del sistema impermeabilizante de cubiertas con espuma rígida de poliuretano expandido con densidad de 45 kg/m<sup>3</sup>". Mediante el desarrollo de un diseño experimental se validaran las hipótesis que permitan comprender las causas que propician la aparición de lesiones en un tiempo menor al previsto debido a la pérdida de adherencia.

*Ing. Midalis González Acevedo, Ing. María Luisa Rivada Vázquez. Comportamiento del sistema impermeabilizante de espuma rígida de poliuretano en cubiertas de La Habana.*

### **Bibliografía:**

- 1 Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado (ATEPA), libro Blanco del Poliuretano Proyectado. Versión 2.0 julio 2009.
- 2 Kapps M, Buschkamp S, fabricación de espuma rígida de poliuretano (PUR). Bayer Material Science. File N°PU210120409 es 2004.
- 3 Gutiérrez C E, Lazo L, el poliuretano. Mecánica Industrial 141. Universidad Técnica Federico Santa María sede " José Miquel Carrera" .Viña del Mar Chile. 2006
- 4 Flores Carlos, el poliuretano espumoso. Ciencia de los materiales. Universidad Técnica Rafael Landívar Colombia. 2009.
- 5 NC 55:2006. Criterios de diseño para la impermeabilización de cubiertas con mantas asfálticas. Especifica la Pendiente mínima en cubiertas nuevas 3%.
- 6 NC 465:2010. Conformadores de pendientes.
- 7 UNE 92120-1:1998/1M: 2003/2M: 2008. Productos de aislamiento térmico para construcción. Espuma rígida de poliuretano producida in situ por proyección. Parte 1.
- 8 UNE 92120-1/1M: 2003 Productos de aislamiento térmico para la construcción Espuma Rígida de poliuretano producida in situ. Parte 1: Especificaciones del producto antes de la instalación. Tipos y contenidos de propelentes.
- 9 UNE 92120-2/2M: 2003 Productos de aislamiento térmico para la construcción Espuma Rígida de poliuretano producida in situ. Parte 2: Especificaciones del producto antes de la instalación. Regulación ambiental.
- 10 Documento de Idoneidad Técnica DITEC # 402:2012 Sistema impermeabilizante de espuma de poliuretano PU Poliuretano Spray S-283-W/H-ELASPLAS (Caracterización del producto realizada en Cuba). 1.4.1 Requisitos para la puesta en obra.