

Caracterización de la espuma rígida de poliuretano expandido como impermeabilizante de cubiertas.
Characterization of rigid polyurethane foam expanded as a roof waterproofing.



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



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

Recibido: 10-03-16
Aceptado: 11-05-16

Resumen:

En el presente artículo se realiza la caracterización del sistema de espuma rígida de poliuretano expandido, como parte de la investigación: "Valoración de la espuma rígida de poliuretano en su uso como impermeabilizante de cubiertas en La Habana", este es el primero de tres artículos que abordan el tema. En el presente material se ofrecen los resultados de la información obtenida a partir de la normativa vigente, documentación técnica consultada y observaciones realizadas en cubiertas antes y durante la aplicación. La tecnología consiste en la proyección de una mezcla líquida de dos componentes atomizados que reaccionan *in situ*, dando lugar a la espuma. La caracterización se realiza desde el punto de vista químico, físico y tecnológico; se describen los diferentes tipos de protecciones que requiere la espuma, debido a su baja resistencia a la radiación ultravioleta y se plantean los requisitos para su puesta en obra. Se concluye que este sistema por su ligereza, bondades tecnológicas y propiedades aislantes que le permiten tener una notable incidencia en la economía energética y desde este punto de vista medioambiental, puede

Ing. Midalis González Acevedo, Ing. María Luisa Rivada Vázquez. Caracterización de la espuma rígida de poliuretano expandido como impermeabilizante de cubiertas.

resultar apropiado ante las condiciones de un clima tropical comparado con los sistemas impermeabilizantes tradicionales.

Palabras clave: Cubierta, Impermeabilizante, Sistema de espuma rígida de poliuretano

Abstract:

This article is about the characterization of the system of rigid expanded polyurethane foam. It is one of the three articles which compounds the research: "Evaluation of the rigid polyurethane foam when used as a roof waterproofing in Havana". This is the res and constitutes the first of three articles. They are dealing with the subject. This is the result of information obtained from current regulations, consulted technical documentation and observations made on covered before and during application. This technology involves the screening of a mixture of two atomized liquid components react *in situ*, resulting foam. The characterization is done from the point of chemical, physical and technological, describes the different types of protections that require the foam, due to its low resistance to ultraviolet radiation and the requirements for placing. It is concluded that this system, for its lightness, technological advantages and insulating properties that allow you to have a significant impact on the energy economy and from the environmental point of view, it may be appropriate to the conditions of a tropical climate compared to traditional waterproofing systems.

Keywords: Roof, Waterproofing, System of rigid polyurethane foam

Introducción:

El clima es un factor determinante para la elección de materiales que protejan las edificaciones, condición que ha dado lugar a diversas soluciones de impermeabilización que se han ido transformando con el desarrollo tecnológico, empezando por los sistemas pétreos y asfálticos, hasta llegar a los poliméricos, entre los que se encuentran los poliuretanos, ya validados internacionalmente por su fácil aplicación, poco peso, estabilidad dimensional, resistencia al intemperismo y a la presencia de agua de diferente naturaleza. Por tales razones puede resultar una alternativa más flexible y ligera comparada con los sistemas impermeabilizantes tradicionales. Este primer artículo, constituye la caracterización del sistema de espuma rígida de poliuretano expandido protegido por una membrana elastomérica, a partir de la normativa vigente, documentación técnica consultada y observaciones realizadas en cubiertas antes y durante la aplicación.

La espuma rígida de poliuretano expandido es un material sintético ligero, fuertemente reticulado de celdas cerradas. Además posee una buena resistencia mecánica con respecto a su densidad, que reduce el consumo energético de los locales que protege, por su capacidad de aislamiento térmico. Sin embargo es vulnerable ante la radiación ultravioleta contenida en la luz solar, por lo que requiere protección mediante una membrana elastomérica u otra solución compatible que evite el deterioro de la capa de espuma. El sistema se aplica desde un camión móvil equipado con un sistema de proyección, que además contiene los envases de las materias primas que provienen de la síntesis del petróleo y el azúcar. Para su aplicación debe cumplir con la normativa y regulaciones medio ambientales referidas al uso de propelentes en su fabricación y colocación para garantizar la durabilidad del sistema.

MARCO AMBIENTAL

La espuma rígida de poliuretano ha tenido numerosos cambios en la composición química de los propelentes contenidos en el polioliol, precisado por regulaciones medioambientales encaminadas a disminuir

Revista de Arquitectura e Ingeniería. 2016, Vol.10 No.2 ISSN 1990-8830 / RNPS 2125

Ing. Midalis González Acevedo, Ing. María Luisa Rivada Vázquez. Caracterización de la espuma rígida de poliuretano expandido como impermeabilizante de cubiertas.

la destrucción de la capa de ozono y el efecto invernadero, mediante la reducción de emisiones de gases industriales.

Los sistemas de poliuretano cumplen estrictamente las normativas y exigencias del protocolo de Montreal de 1991, y desde enero de 2004 no utilizan clorofluorocarbonos (CFC) ni hidrocarburos hidrógeno-fluorados (H-CF), que deterioran la capa de ozono. No obstante, en el artículo 5 del protocolo está permitido, para países en desarrollo, usar hasta el año 2030 agentes menos agresivos tales como tetrafluretano (HFC-134a1,1,1,2), Pentafluoropropano (HFC-245fa1,1,1,3,3), Hexafluorobutano (HFC356 mffm 1,1,1,4,4,4) y el pentafluorobutano (HFC365mfc 1,1,1,3,3); mientras que para los países desarrollados sólo es válido usar agentes expansores con cero coeficiente de depleción de la capa de ozono atmosférico (ODP = 0.000) como el Pentafluoropropano (R-245fa), o el ciclopentano (HC). También se utilizan en menor medida, propelentes como agua y dióxido de carbono.

La aplicación de tecnologías basadas en las espumas rígidas de poliuretano son capaces de reducir el consumo energético de equipos climatizadores en los locales que protege, por su capacidad de aislamiento térmico establecida en 0,020 Kcal/mhr°C, y colabora con las medidas adoptadas en el protocolo de Kyoto de 1997, con vista a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero que provocan el calentamiento global.

Es válido puntualizar que el sistema de espuma rígida de poliuretano protegido por una membrana elastomérica, en su aplicación afecta al medio ambiente y a la salud debido a las emisiones tóxicas generadas en el proceso de fusión de las materias primas que dan origen a la espuma rígida de poliuretano donde se generan vapores y partículas de disocianato (MDI). En igual dirección pero en menor grado durante el proceso de proyección de la membrana protectora se generan gases de naturaleza orgánica. En general estas emisiones contaminan el aire, pueden causar afecciones en las vías respiratorias, alergias en mucosas y piel, además de dolores de cabeza, por lo que los trabajadores que interactúan con el sistema y sus materias primas requieren de medios tales como: máscaras, gafas, ropa, guantes y calzado. También deben realizarse controles técnicos a los envases de materias primas y máquinas de proyección. El producto una vez aplicado no contamina el medio ambiente, por tanto la valoración que se efectúa en la investigación no lo afecta.

MARCO JURÍDICO

El sistema de espuma rígida de poliuretano cuenta con una normativa técnica internacional, así como un documento de idoneidad (DITEC), que lo avala de acuerdo a las condiciones climáticas de Cuba:

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.

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.

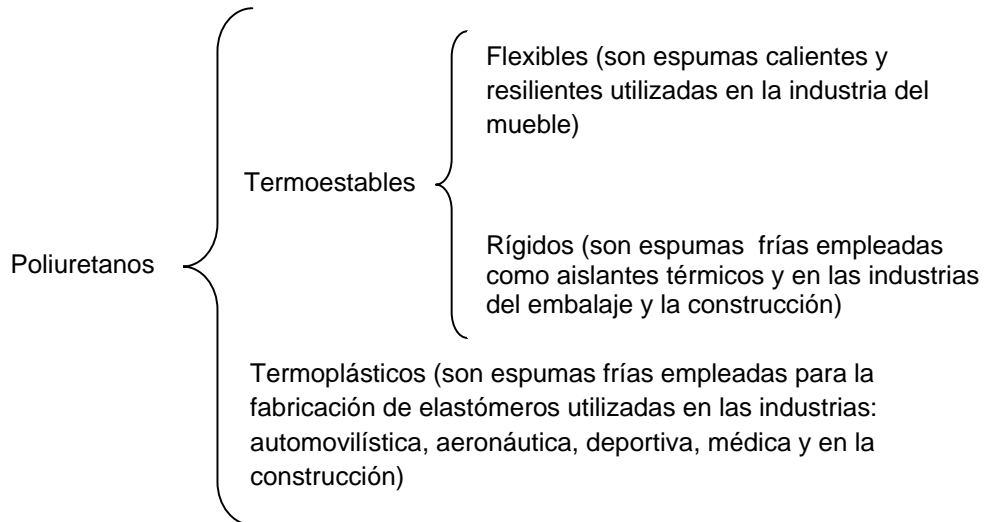
UNE 92120-2/2M: 2003 Productos de aislamiento térmico para la construcción Espuma Rígida de poliuretano producida in situ. Parte 2: Especificaciones del producto antes de la instalación. Regulación ambiental.

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).

Revista de Arquitectura e Ingeniería. 2016, Vol.10 No.2 ISSN 1990-8830 / RNPS 2125

MARCO HISTÓRICO

Las espumas de poliuretano son descubiertas por el investigador alemán Otto Bayer ^[1] en 1937, pero no fue hasta los años 50 que el material se desarrolló e industrializó de un modo científico y progresista, hasta convertirse en uno de los más versátiles de hoy en día, tal como muestra el esquema 1.



Esquema 1. Clasificación del Poliuretano

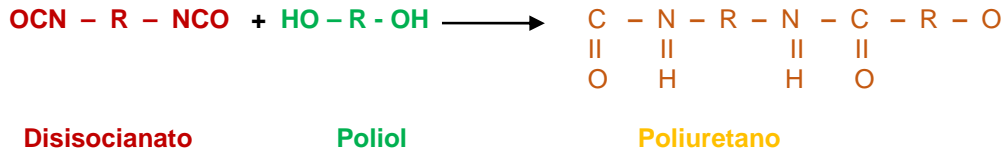
El poliuretano proyectado y expandido, aplicado como impermeabilizante de cubierta y aislante térmico, es un caso particular dentro de las espumas rígidas frías. Se genera *in situ*, formado por varias capas que aseguran un grosor resultante de color amarillo de consistencia rígida, por lo que no recupera su forma cuando la pierde por acción mecánica. Consiste en una materia ligera, sintética, duroplástica, fuertemente reticulada en el espacio y no fusible e inerte frente al ataque de mohos e imputrescible. Resistente a solventes ^[2], aceites, ácidos diluidos y soluciones alcalinas, presenta buen comportamiento de la resistencia mecánica con respecto a su densidad

COMPOSICIÓN QUÍMICA Y ESTRUCTURA INTERNA

La formulación de los poliuretanos depende de su aplicación, pero proceden básicamente de dos productos: el azúcar y el petróleo, para obtener a partir de un proceso químico de transformación dos componentes líquidos llamados genéricamente polioliol e isocianato. En su composición química el polioliol, caracterizado por los grupos hidroxilos (OH), está mezclado con los agentes espumantes expansivos y otros aditivos, como aminas, siliconas, agua y catalizadores organometálicos e ignífugantes. La combinación de estas adiciones condiciona la reacción, y da lugar a una estructura con más del 90 % ^[3]: de celdas cerradas, además de influir en la apariencia y coloración final de la espuma. El componente isocianato, determinado por su contenido de grupos funcionales (NCO), formulado como Difenil Metano de Disisocianato (MDI), aporta estabilidad térmica, resistencia a la combustión e influye directamente en el proceso de reactividad y adherencia de la espuma.

Al fusionarse el isocianato y el polioliol ocasionan una serie de reacciones químicas que conducen a enlaces de uretano, poliuretanos, alofanatos, ureas modificadas, cianatos y prepolímeros, para alcanzar alrededor de 17 reacciones químicas simultáneas, pero el proceso puede resumirse en el esquema 2 ^[4] (Figura 1).

Ing. Midalis González Acevedo, Ing. María Luisa Rivada Vázquez. Caracterización de la espuma rígida de poliuretano expandido como impermeabilizante de cubiertas.



Esquema 2. Ecuación de reacción de formación de un poliuretano

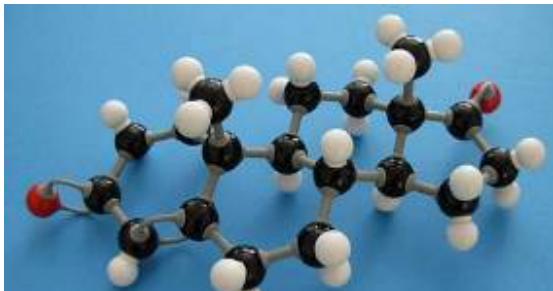


Figura1. Estructura molecular del poliuretano.
Fuente: Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado (ATEPA).Poliuretano Projectado. Versión 2.0. 2009

La intervención de los catalizadores en las reacciones provoca una exotermia resultante que puede elevar la temperatura a más de 50 °C. Este calor permite la evaporación del agente espumante que rellena las celdillas recién formadas, obteniéndose un producto sólido de estructura celular de celdas cerradas (Figuras 2 a, b y c) cuyo volumen es hasta 20 veces mayor que el de los líquidos que le dieron origen^[5]. Es por ello que la espuma rígida se constituye por una agregación de burbujas que permiten que solo una pequeña parte del volumen sea de materia sólida y de esta concentración depende directamente su amplio intervalo de densidades, que para impermeabilizante de cubiertas oscila entre 30 y 60 kg/m³. La selección dependerá de las prestaciones exigidas por el proyecto, las condiciones a las que estará expuesta y el financiamiento disponible.

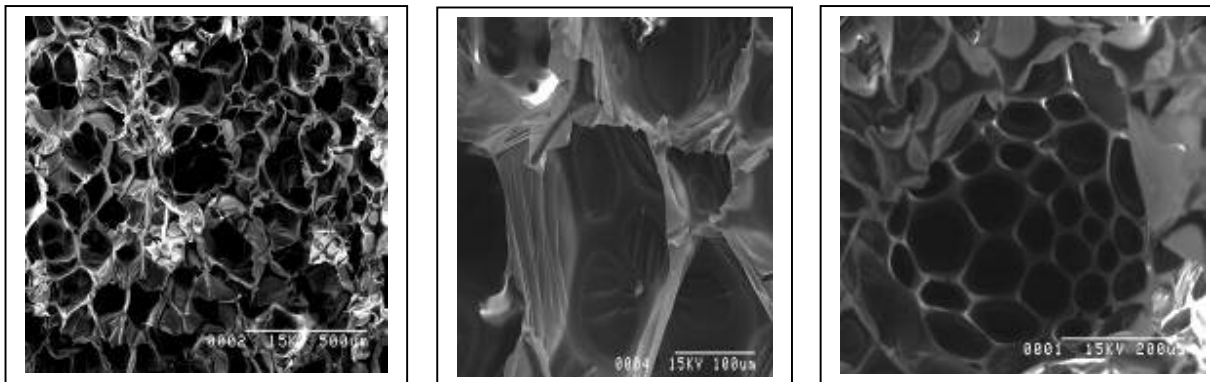


Figura 2 a, b, c. Vistas microscópicas de la espuma rígida de poliuretano con densidad de 45 kg/m³ utilizado como parte de las muestras de la investigación.

Fuente: Las autoras

Revista de Arquitectura e Ingeniería. 2016, Vol.10 No.2 ISSN 1990-8830 / RNPS 2125

Ing. Midalis González Acevedo, Ing. María Luisa Rivada Vázquez. Caracterización de la espuma rígida de poliuretano expandido como impermeabilizante de cubiertas.

La secuencia de imágenes muestra la estructura de celdas cerradas mediante diferentes niveles de precisión obtenidos a través de la técnica microscópica electrónica de barrido realizado con la colaboración de la Facultad de Física. Universidad de la Habana (2014).

La reactividad de las espumas proyectadas in situ se puede determinar mediante una inspección visual en la que se observan los diferentes tiempos de formación de la espuma.

- Tiempo de gel. Formación de monómeros y polímeros
- Tiempo de hilo. Estructuración, formación de redes cristalinas y de las celdas.
- Tiempo de subida. Final de la expansión, durante la cual se alcanzan altas temperaturas en el núcleo de la espuma, estimadas entre 120 y 180 °C, y la máxima dilatación del gas espumante generado en la reacción.
- Tacto libre: 60 segundos. Fin de la reacción y formación de piel.

TECNOLOGÍA DE APLICACIÓN

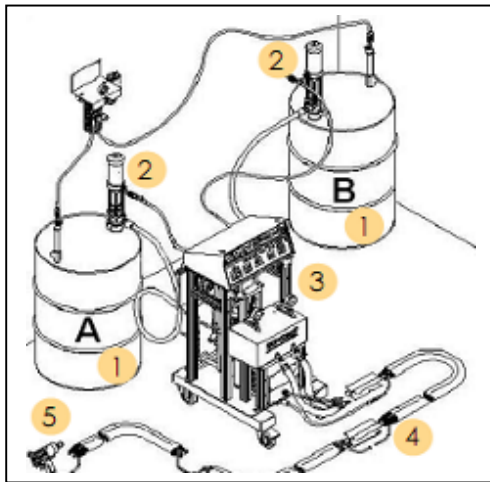
Debido a que las espumas de poliuretano destinadas a impermeabilizante de cubiertas deben generarse en las condiciones no industriales de los espacios abiertos, generalmente se aplican desde un camión (Figuras 3 a, b y c) equipado con sistema de proyección de alta presión (Esquema 3) que permite succionar las materias primas, denominadas polioli e isocianato, desde sus envases mediante dos bombas de trasiego que trabajan de manera constante con una presión igual a 10 MPa, procurando evitar la entrada de aire, y una relación volumétrica fija a partes iguales de los componentes, hasta llegar al bloque de calentamiento donde se eleva la temperatura a $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y desde donde se impulsan los líquidos por medio de una bomba hidráulica (máquina de proyección) a través de mangueras que disponen de resistencias eléctricas para conservar la temperatura, hasta llegar al cabezal de la pistola, donde se mezclan y salen atomizadas por la boquilla, espumando instantáneamente por la reacción química entre los dos componentes que solidifican en unos segundos después (Figuras 4 y 5).

En la aplicación de la espuma se recomiendan capas de espesor uniforme de 15 mm como máximo, proyectadas con pasadas multidireccionales. El número de capas no debe exceder de 3, para un espesor total comprendido entre 30 y 40 mm^[6], de manera que se obtenga un espesor relativamente homogéneo, capaz de mantenerse adherida a diferentes tipos de sustratos nuevos o antiguos. El producto puede ser aplicado sobre superficies irregulares, con pendientes empinadas e incluso verticales, aunque las capas queden colgadas tal como ocurre en techos de frigoríficos y ómnibus, donde las tuberías flexibles de las instalaciones están empotradas, y por tanto inmobilizadas o aisladas térmicamente por medio de una gruesa capa de poliuretano, que generalmente se esconde tras un falso techo. En el caso de los vehículos el polímero está sometido, incluso, a vibraciones que no logran vencer su adherencia a las superficies metálicas.



Figura 3.a, b, c. Camión equipado con sistema de proyección y depósitos con las materias primas. Fotos de las autoras.

Ing. Midalis González Acevedo, Ing. María Luisa Rivada Vázquez. Caracterización de la espuma rígida de poliuretano expandido como impermeabilizante de cubiertas.



Esquema 3. Sistema airless: Composición del sistema de proyección de espumas rígidas de poliuretano.

- 1 Tanques de materias primas
- 2 Bombas de trasiego
- 3 Máquina de proyección
- 4 Manguera calentamiento
- 5 Pistola

Fuente: Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado (ATEPA) "Poliuretano Projectado". Versión 2.0. 2009



Figura 4. Salida de la mezcla poliisocianato por la boquilla de la pistola.
Foto de las autoras.

Figura 5. Primera capa de espumación.
Foto de las autoras.



REQUISITOS PARA LA PUESTA EN OBRA

Las superficies deben estar limpias y secas antes de recibir la mezcla.

El sustrato soporte deberá estar bien consolidado para propiciar una adecuada adherencia y asimilar las dilataciones y contracciones del poliuretano.

Sobre superficies metálicas no protegidas debe aplicarse productos anticorrosivos y adherentes.

La máquina espumadora debe encontrarse limpia y calibrada en el momento de la aplicación para garantizar una mezcla homogénea y un cono regular de proyección.

La humedad relativa del aire en el lugar de la aplicación no debe superar el 85%, y la humedad del soporte no debe ser superior al 20%^[7].

No debe espumarse a temperaturas por debajo de 5°C, puesto que se incrementa el consumo y puede afectarse la adherencia al sustrato^[8].

La velocidad del viento debe ser inferior a 30 km/h^[9].

Los bajantes pluviales deben protegerse colocando en su interior un tapón engrasado y bien ajustado que permita ser retirado después de la aplicación.

Las juntas de dilatación deben estar completamente limpias antes de aislarlas de la espuma con una malla antiadherente de, al menos 30 cm de ancho^[10], para impedir que se agriete por posibles movimientos del soporte base.

Se evitará aplicar la espuma de poliuretano directamente en intersección con ángulos rectos, como pudiera ocurrir entre cubiertas y elementos verticales, donde previamente se conformarán ochavas con altura mínima de 10 cm y dosificación de 1:3 (cemento-arena)^[11].

En caso de tuberías pasantes, la aplicación de la espuma rígida no debe superar la altura de 20 cm.

PROTECCIÓN SUPERFICIAL

Por su naturaleza orgánica, la espuma rígida de poliuretano es altamente sensible a la degradación ocasionada por la radiación ultravioleta (UVA) contenida en la luz solar, por lo que es necesario protegerla de la exposición con un recubrimiento que debe aplicarse el mismo día en que se haya proyectado la espuma, para evitar el comienzo del deterioro. Si la superficie ya está dañada, deberá eliminarse la capa superficial con medios mecánicos o químicos para volver a proyectar la espuma que restituya la zona afectada. La elección del recubrimiento protector depende de factores como el costo, la transitabilidad, el peso por unidad de área y la estética.

Existen varios tipos de recubrimientos protectores, tales como:

Pinturas de reflexión o sección fina: Generalmente acrílicas, con espesores entre 0,5 y 1 mm. Este tipo de protección exige un especial cuidado del mantenimiento, y habrá que repintar cada vez que se note el deterioro. La duración dependerá de la calidad y espesor de la pintura.

Recubrimientos de sección intermedia: Con más capacidad protectora, soportan mayor carga mecánica y tienen una vida útil más larga. A este grupo pertenecen los elastómeros de poliuretano, con densidades entre 800 y 1200 Kg/ m³ y espesores entre 1,2 y 2 mm. También se emplean como recubrimientos integrales e impermeables en muchas otras aplicaciones como: estanques, piscinas, estructuras de hormigón o metálicas, boyas marinas y, en general, en cualquier soporte que vaya a estar sometido al contacto con agua o frecuentes agresiones, incluso de algunas sustancias corrosivas.

Sección gruesa o pesada. Está formado por grava, losas de cerámica, capas de mortero, entre otras.

Aplicación de la protección

Los recubrimientos poliméricos se aplicarán en dos capas de diferentes colores (Figuras 6 y 7), en direcciones ortogonales de aplicación, pero de igual composición química, garantizando el espesor mínimo de la película final. En el caso de recubrimientos de sección pesada debe velarse por no ocasionar daños por punzonamiento a la espuma durante su colocación.

Para la aplicación de los recubrimientos poliméricos deben cumplirse las mismas especificaciones técnicas ambientales que para la espuma.

El fabricante garantiza la duración del sistema por más de 10 años si se realizan mantenimientos periódicos y se evitan afectaciones por agentes externos como pueden ser roturas de la superficie producidas por objetos punzantes.^[12]



Figura 6. Aplicación de la primera capa de protección a la espuma rígida mediante una membrana elastomérica de base acrílica.
Foto de las autoras.



Figura 7. Aplicación de la segunda capa de protección a la espuma rígida mediante una membrana elastomérica de base acrílica de color diferente a la primera capa.
Foto de las autoras.

Conclusiones:

El sistema de espuma rígida de poliuretano, de acuerdo a la documentación consultada, se caracteriza por:

Cumplir con la normativa medioambiental, en cuanto al uso de gases industriales que garantizan la espumación. Además contribuye a disminuir las emisiones procedentes de la quema de combustibles fósiles destinados a los servicios de calefacción y refrigeración de edificios debido a su capacidad de aislamiento térmico establecida en 0,020 Kcal/mhr°C.

Cuenta con normas internacionales que regulan y especifican tipo y contenido de propelentes que se adicionan al polioliol, parámetros medio ambientales, condiciones del sustrato, además de un Documento de Idoneidad Técnica que establece los parámetros técnicos para las condiciones climáticas de Cuba.

Constituye una capa continua de aislamiento, caracterizada por tener más del 90 % de sus celdas cerradas, como se ilustra en las fotos realizadas por la técnica microscópica electrónica de barrido.

Duración de más de 10 años garantizada por el fabricante, a condición de que se realicen mantenimientos periódicos y que se eviten daños mecánicos a la superficie protectora.

Admite una buena adherencia a la mayoría de los materiales que se emplean en la construcción: madera, piedra, hormigón, fibrocemento, superficies plásticas y metálicas.

Permite realizar una rápida ejecución *in situ* desde un camión que traslada los envases de las materias primas y el equipamiento especializado de proyección, por lo que generalmente no interfiere en la ruta crítica planificada para la obra.

No requiere aditamentos de sujeción mecánica; puede aplicarse sobre superficies irregulares, empinadas e incluso verticales y sobre techos nuevos o directamente en viejos sistemas de enrajonado y soladura, o impermeabilizantes elastoméricos.

No se afecta por hongos, bacterias, roedores o insectos, por lo que se recomienda en aplicaciones sometidas a ataques bacteriológicos.

La espuma rígida de poliuretano es altamente sensible a la radiación ultravioleta, por lo que requiere de protección contra la luz solar.

La cubierta debe estar limpia, seca, con menos del 85% de humedad relativa en el aire y la humedad del soporte no debe superar el 20 %, para que no se afecte la adherencia de la espuma al sustrato.

No debe aplicarse cuando la velocidad del viento sea superior a 30 Km/h, porque se arrastraría la espuma recién vertida.

Requiere estricto mantenimiento del equipo de proyección, porque una alteración en los tiempos de salida de los componentes modifica el proceso de formación de la espuma.

Debe chequearse la integridad de la capa protectora de la espuma, y evitar deterioros por agentes externos.

Pero ¿cuál ha sido el comportamiento del sistema sobre cubiertas de La Habana? Esta incógnita se verá respondida en el segundo artículo: "Comportamiento del sistema impermeabilizante de espuma rígida de poliuretano en cubiertas de La Habana".

Ing. Midalis González Acevedo, Ing. María Luisa Rivada Vázquez. Caracterización de la espuma rígida de poliuretano expandido como impermeabilizante de cubiertas.

Bibliografía:

- 1) Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado. (ATEPA) "Libro Blanco del Poliuretano Proyectado". Versión 2.0 Origen y obtención, 2009. 6 p
- 2 y 3) Documento de Idoneidad Técnica DITEC # 83 Sistema impermeabilizante de espuma de poliuretano POAI 4501/B227-ELASPLAS (caracterización del producto realizada en Cuba).1.1 Principio y descripción (2004).3p
- 4) Kapps M, Buschkamp S (2004) "Fabricación de espuma rígida de poliuretano (PUR)". Bayer Material Science. File N°PU210120409 es. Introducción 2004.3p
- 5) 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). 1.1 Principio y descripción 2012.3 p
- 6) Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado. (ATEPA) Libro Blanco del Poliuretano Proyectado". Versión 2.0. Espesor equivalente 2009. 15 p
- 7) UNE 92120 -2 /2M: 2003 Productos de aislamiento térmico para la construcción Espuma Rígida de poliuretano producida in situ. Parte 2: Especificaciones. Regulación ambiental 2003. 5p
- 8 y 9) Documento de Idoneidad Técnica DITEC # 402Sistema 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 2012. 4p
- 10 y 11) Documento de Idoneidad Técnica DITEC # 402Sistema impermeabilizante de espuma de poliuretano PU Poliuretano Spray S-283-W/H-ELASPLAS (Caracterización del producto realizada en Cuba). 1.4.2 Tratamiento de los puntos singulares 2012.4p
- 12) Documento de Idoneidad Técnica DITEC # 402Sistema impermeabilizante de espuma de poliuretano PU Poliuretano Spray S-283-W/H-ELASPLAS (Caracterización del producto realizada en Cuba). 2.3.5 Durabilidad 2012. 8p.
- 13) Gutiérrez Claudio, el poliuretano. Mecánica Industrial 141.Universidad Técnica Federico Santa María sede José Miquel Carrera (Viña del Mar) Chile. 2006.
- 14) Flores Carlos, el poliuretano espumoso. Ciencia de los materiales. Universidad Técnica Rafael Landívar Colombia. 2009
- 15) Unidad Coordinadora de Asuntos Internacionales. Protocolo de Montreal [en línea] 2013 12-0. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/temas/agenda-internacional/protocolo-de-montreal> [Consulta: febrero9 de 2016]
- 16) Organización de las Naciones Unidas (en inglés). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [en línea] 2010 23-04. Disponible en: «[Kyoto Protocol: Status of Ratification](http://www.semarnat.gob.mx/temas/agenda-internacional/protocolo-de-montreal)» (PDF). <http://www.semarnat.gob.mx/temas/agenda-internacional/protocolo-de-montreal> [Consulta: enero 20 de 2016]

Ing. Midalis González Acevedo, Ing. María Luisa Rivada Vázquez. Caracterización de la espuma rígida de poliuretano expandido como impermeabilizante de cubiertas.

- 17) Quiminet. Características de la espuma rígida de poliuretano. [en línea] 2012 10-09 <http://WWW.quiminet.com.mx> [Consulta: diciembre 10 de 2015]
- 18) Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado. (ATEPA). Geminal dithiols - 1,2-Dithiols - 1,3-Dithiols - 1,4-Dithiols_ [en línea] 2012. Disponible en: www.atepa.org/documentos/normas.htm [Consulta: diciembre 17 de 2015]
- 19) Los adhesivos. Elastómeros [en línea] 2012. Disponible en: <http://www.losadhesivos.com/elastomero.htm>[Consulta: diciembre 17 de 2015]
- 20) Manufactura, ingeniería y tecnología. Espumas de poliuretano [en línea] 2012. Disponible en: http://books.google.com.co/books?id=gilYI9_KKAoC&pg=PA197&lpq=PA197&dq=elastomeros&source=bl&ots=mn7TAUpsLD&sig=Yq7IDZsavm_VspvEtESaFINdeGc&hl=en&sa=X&ei=MdJ0UijlPIbm8QS_r4GABw&ved=0CCgQ6AEwAA#v=onepage&q=elastomeros&f=false [Consulta: febrero 9 de 2016]
- 21) Aisforma. Compuestos del poliuretano, modo de ejecución ejemplos de aplicación [en línea] 2013. Disponible en: <http://www.aisforma.com> [Consulta: diciembre 10 de 2015]
- 22) Repsol. Poliuretano- materias-primas [en línea] Disponible en: www.repsol.com/es_es/productos-servicios/quimica/nuestros.../polioles/ [Consulta: diciembre 17 de 2015]
- 23) Elastómeros. [en línea] 2012 10-09 Disponible en: http://books.google.com.co/books?id=gilYI9_KKAoC&pg=PA197&lpq=PA197&dq=elastomeros&source=bl&ots=mn7TAUpsLD&sig=Yq7IDZsavm_VspvEtESaFINdeGc&hl=en&sa=X&ei=MdJ0UijlPIbm8QS_r4GABw&ved=0CCgQ6AEwAA#v=onepage&q=elastomeros&f=false[Consulta: diciembre 15 de 2015]