

LAS TENSOESTRUCTURAS Y LA SOSTENIBILIDAD

R. Sastre¹, A. Cuchi¹

¹Professor, Dr. Arquitecto, E.T.S. Arquitectura Vallès, UPC, Barcelona, Spain

Introducción

La demanda de sostenibilidad es ya una exigencia social ineludible que reclama la transformación de nuestro sistema productivo hacia un sistema no contaminante -no destructor del medio- y que permita mantener la calidad de los recursos para su disponibilidad por las generaciones futuras.

Esa exigencia, que tiene fuertes repercusiones sociales y económicas, supone la consideración de los recursos necesarios para satisfacer cualquier necesidad de forma socialmente aceptable. Y una de esas necesidades –y de fuerte compromiso con los recursos- es la obtención de la habitabilidad necesaria para cobijar las actividades sociales en unas condiciones dimensionales y ambientales determinadas. Eso es, la utilidad que satisface la edificación.

La edificación usa, de forma habitual, una cantidad de recursos considerables para proveer la habitabilidad socialmente demandada. Construir un metro cuadrado de edificio estándar puede suponer el uso directo de cerca de dos toneladas de materiales (más el indirecto que ha sido preciso remover para obtenerlos), y la energía necesaria para fabricarlos puede suponer el equivalente a la energía de cerca de 150 litros de gasolina (con la emisión de más de 400 kg de CO₂ a la atmósfera). Adicionalmente, habitar los edificios supone el uso de energía para mantener su habitabilidad, y en Europa eso supone más del 40% de la energía primaria utilizada en actividades sociales. Los impactos en la fabricación de materiales y los debidos al uso de energía durante la utilización son hoy día las claves en la sostenibilidad en edificación.

Conseguir satisfacer la demanda de habitabilidad disminuyendo los residuos contaminantes –no reciclados a través del medio natural (materiales renovables) o del sistema técnico (materiales reciclables)- eso es la sostenibilidad en edificación, supone el reto que el sector tiene como objetivo urgente.

Evaluar la sostenibilidad de una edificación supone evaluar los ciclos de materiales abiertos –con emisión de residuos contaminantes- implicados en la obtención de la habitabilidad que proporciona. Y mientras no seamos capaces de volver a crear habitabilidad usando materiales en ciclos cerrados, la mejor evaluación de la sostenibilidad de un edificio pasa por comparar los impactos producidos por los residuos generados por su construcción y uso, generados por la habitabilidad que procura.

En el caso que nos ocupa, las tensoestructuras, este artículo pretende hacer un primer repaso de sus potenciales y de sus debilidades frente a la exigencia de sostenibilidad.

Las tensoestructuras, siendo como son un sistema constructivo nuevo (menos de 70 años), han tenido que pasar por una multitud de pruebas antes de ser aceptadas como un sistema cons-

tructivo más. Y en particular el uso de membranas como elemento constructivo. Primero era novedad y como tal era considerado un sistema alternativo al que se le podían perdonar todos los “pecados”. Pero poco a poco el sistema ha evolucionado y hoy en día es utilizado como cualquier otro, y en algunos casos más que ningún otro. Solamente tenemos que observar la multitud de estadios que para cualquier evento deportivo son remodelados o construidos de nuevo, utilizando las membranas y sistemas estructurales ligeros.

Y si es así, que las tensoestructuras son un sistema constructivo más, la pregunta surge de inmediato: ¿cómo conseguir que las tensoestructuras sean sostenibles?

Cabe considerar un primer punto clave a su favor: el desarrollo de las tensoestructuras se ha producido mayoritariamente para cubrir necesidades de cobijo que se limitan en muchos casos a proteger de la lluvia, del sol, y del viento (individualmente, o combinadas), consiguiendo satisfacerlas con una cantidad de recursos infinitamente menor que haberlo hecho con cualquier sistema constructivo alternativo. Ese ajuste entre recursos y utilidad satisfecha es el principal argumento en pro de la sostenibilidad de las tensoestructuras frente a otros sistemas constructivos, su principal baza. Igualmente, su uso en instalaciones provisionales –no permanentes- permite ajustar los recursos a la durabilidad de la actividad que cobija, evitando que ésta demande una cantidad mucho mayor de recursos.

Tras esta primera consideración, vamos a realizar un recorrido por las dos cuestiones clave en la mejora de la sostenibilidad de los edificios: el uso de energía necesario para habitarlos y los impactos causados por la fabricación de los materiales que los componen.

El ahorro de energía y las estructuras ligeras

Hablar de sostenibilidad en arquitectura suele pasar casi siempre por hablar de ahorro energético. Si la energía fuera limpia e inacabable, esta relación no tendría sentido. Pero es bien conocido que gran parte de la energía primaria utilizada a nivel mundial –más de un 80%- es energía fósil y su uso significaⁱ devolver a la atmosfera una cantidad ingente de CO₂ que la naturaleza había almacenado en el interior de la Tierra a lo largo de millones de años provocando una de las mayores crisis ambientales a las que nos enfrentamos: el cambio climático. Naturalmente, es necesario un cambio de modelo energético que nos dirija rápidamente al uso de energías renovables, pero tanto esa transformación como la limitación de esas fuentes exige un considerable aumento de la eficiencia energética que haga viable el cambio..

Así pues, en la evaluación de la sostenibilidad de un edificio solemos empezar por el ahorro energético que puede conllevar en los distintos aspectos de la habitabilidad en que se demanda energía y en los que el edificio puede influir en la eficiencia de su uso.

(No vamos a considerar los temas energéticos ligados a la fabricación de estos materiales, ya que esto implicaría entrar en aspectos químico-físicos que se apartan del espíritu de este texto).

Y este ahorro puede apreciarse bajo varios puntos de vista muy distintos:

a) Ahorro en iluminación interior

La mayoría de las membranas usadas en las tensoestructuras (sobre todo las de color blanco) suelen ser membranas translúcidas. Incluso pueden llegar a ser transparentes, tal es el caso del ETFE. Por lo tanto, la cantidad de luz solar que tenemos en los interiores cubiertos por membranas puede ser tan grande que haga totalmente innecesaria la iluminación artificial de dichos interiores.

Pero no solo es eso, ya que en el caso de las membranas translúcidas la luz interior es totalmente difusa, de forma que no existe ninguna radiación directa y, por lo tanto, no existe deslumbramiento. Para algunas actividades, por ejemplo las deportivas, esta particularidad es muy importante y puede ser determinante.

b) Ahorro en calefacción interior

De la misma forma en que la membrana permite el paso de la luz, también permite el paso de gran parte de radiación infrarroja. Sea por transmisión directa o bien por emisión interior de la energía absorbida por la membrana.

Esta energía que penetra al interior del espacio cubierto con membranas puede ayudar a economizar en gastos de calefacción en aquellos climas fríos pero soleados, como sucede en muchas zonas de clima mediterráneo en invierno.

En algunos casos de uso del espacio solamente diurno, (alguna instalación deportiva o similar) podremos incluso eliminar totalmente la calefacción del espacio. Es cierto, sin embargo, que los días nublados deberemos recurrir a algún método de calefacción, si queremos un cierto confort en el interior. Lo mismo sucedería por la noche, ya que la membrana, al tener tan poco peso no proporciona inercia térmica al espacio interior. En todo caso la inercia la debería proporcionar el resto de la edificación: suelo, paredes, etc.

c) Ahorro en refrigeración interior

De acuerdo con el apartado anterior, podría parecer que este apartado es imposible. ¿Cómo podemos ahorrar refrigeración interior a través de un material que permite el ingreso de energía solar externa? Sencillamente reduciendo este ingreso en aquellos edificios que lo permiten a través de cerramientos acristalados.

De hecho los fabricantes de membranas, para uso de elementos tensados arquitectónicos, ya hace bastantes años que han creado divisiones comerciales dedicadas a este tema. En un principio se trató de corregir los errores de muchos arquitectos o promotores que construyeron edificios acristalados en climas cálidos o templados (mediterráneos, por ejemplo) copiando estándares propios de climas fríos (América del norte, centro y norte de Europa, etc.).

Para ello usamos membranas exteriores al edificio, colocadas en la parte exterior de los acristalamientos. De esa forma, la radiación absorbida que es emitida hacia el exterior y hacia el interior, gracias al efecto de la convección trasera a la membrana (espacio entre el acristalamiento y la membrana) no entra en el edificio. Obviamente, esta membrana está expuesta a los agentes climáticos del exterior, principalmente el viento, y por lo tanto va a necesitar de una estructura propia. No se trata de una simple

cortina colgando por el exterior.

¿Qué tipo de membrana vamos a usar? Alguien podría pensar que si colocáramos una membrana opaca conseguiríamos una entrada de energía térmica mínima. Y es cierto. Pero en ese caso no entraría nada de luz al interior y, además de efectos claustrofóbicos, implicaría usar luz artificial, con el gasto que representa, más la energía térmica que pueda llegar a producir dicha luz artificial.

El tipo de membrana más utilizado es el llamado *screen solar*. Se trata de un tejido en el que los hilos de trama y urdimbre se encuentran muy separados, creando una cuadrícula de huecos entre ellos. Esta cuadrícula de huecos es todavía visible cuando protegemos el tejido con el revestimiento adecuado (en general PVC sobre tejido de PES). Es curioso observar cómo a pesar de que estos tipos de membrana puedan ser opacos (o un poco translúcidos) en un tanto por ciento muy elevado (más del 50%), la visibilidad a través de ellos, a través de los huecos, es suficiente como para evitar cualquier tipo de claustrofobia desde el interior. El cerebro se encarga de generar la zona no visible y dar la apariencia de encontrarnos tras una membrana uniformemente poco transparente.

Para poder considerar este ahorro de forma efectiva, debemos aplicar esta técnica en edificios que dispongan de aire acondicionado, ya que va a ser en este apartado donde va a notarse dicho ahorro. Si no es así, conseguiremos evidentemente unas mejores condiciones de confort en el interior nada despreciable, por supuesto, pero no un ahorro económico.

También es cierto que algunos de los tipos de ahorro comentados anteriormente pueden leerse de forma opuesta, y no debemos esconder esta posibilidad si queremos presentar un texto objetivo. Así pues, el uso de membranas puede llegar a representar:

a) Un aumento de la radiación interna

Cuando colocamos un cerramiento, generalmente una cubierta, con una membrana, la radiación que penetra en su interior puede elevar la temperatura de dicho interior de forma significativa, disminuyendo el confort. Obviamente este comportamiento es típico, durante el día, de las zonas cálidas y en verano de las templadas.

La forma de contrarrestar este efecto negativo suele ser mediante la ventilación cruzada del interior, si es posible, ya que en estructuras soportadas por aire esto no es posible (aunque siempre nos queda el recurso de la renovación del aire mediante el mismo equipo de ventilación, propio de este tipo de edificios). Otra posibilidad típica de los sitios en donde el agua es abundante, consiste en rociar la cubierta por el exterior con unos aspersores, ya que debido al efecto de cambio de estado, se absorbe gran cantidad de calor del interior a base de refrescar la propia membrana de cerramiento.

b) Una falta de aislamiento térmico

Si pensamos en aislamiento térmico, otra vez vamos a encontrar un aspecto negativo al utilizar membranas. La capacidad de aislamiento térmico de una membrana es muy parecida a la de un vidrio simple. Ahora bien, en cerramientos acristalados es típico usar cristal doble (incluso triple), con cámara de aire intermedia. Con esta solución se

mejora notablemente la capacidad aislante del cerramiento.

Con las membranas pasa algo diferente. No podemos crear fácilmente una cámara muy estrecha entre dos membranas, aun en el caso en que realmente colocáramos doble membrana. Si la cámara no es muy estrecha se producen efectos de convección en el interior de dicha cámara y el posible efecto beneficioso de la doble membrana desaparece.

Existen en el mercado membranas con una capa de espuma incorporada, de forma que la membrana posee un aislamiento térmico significativo, pero otra vez aparecen los aspectos negativos, que en ese caso se concretan en dificultades para unir los patrones (soldadura) y una pérdida de la translucidez de la membrana.

Finalmente, en este apartado de energía, podríamos hablar de la producción de energía, no del consumo. Nos estamos refiriendo a la producción de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. Al principio, la mayoría de estos paneles se construían sobre placas rígidas y por lo tanto difícilmente eran asimilables a las formas habituales alabeadas de las membranas. Sin embargo, en los últimos años han aparecido paneles fotovoltaicos sobre bases deformables que se adaptan perfectamente a las curvaturas suaves de las tensoestructuras. En ese caso, la colocación de los paneles puede suponer no solamente una producción de energía, sino además un ahorro de la misma, en el sentido de que ciertas partes opacas en el cerramiento pueden contribuir a minimizar la entrada excesiva de calor hacia el interior del edificio a través del cerramiento.

Las membranas y sus materiales

Otro de los aspectos cruciales a tener en cuenta en el campo de la sostenibilidad es el uso de los diferentes materiales. Como se ha comentado, la utilización de materiales no regenerables y de abundancia limitada es considerada no sostenible puesto que esos recursos ya no estarán disponibles para las generaciones futuras. También podemos considerar poco sostenibles aquellos materiales en los que para su obtención es necesaria mucha energía.

¿Cuáles son los materiales usados en las tensoestructuras? La gran mayoría son materiales sintéticos derivados del petróleo. Siendo más precisos, usamos polímeros como el poliéster (PES), policloruro de vinilo (PVC), politetrafluoretileno (PTFE), etileno-tetrafluoretileno (ETFE), siliconas, etc. Siendo el petróleo un material fósil, con una disponibilidad limitada, parece claro que el uso de estos materiales, de entrada, no resultará muy sostenible. En los tejidos de fibra de vidrio, el material no proviene del petróleo, aunque es posible que sí provenga del petróleo la energía abundante necesaria para fabricar dichas fibras.

Otro aspecto determinante en la calificación de un material en relación a la sostenibilidad es el proceso de fabricación. La mayoría de los materiales utilizados en las tensoestructuras no son materiales que se obtengan directamente de la naturaleza, sino que han de ser transformados por un proceso de manufactura o fabricación. Estos procesos pueden ser simples o complejos, usando a la vez otros materiales de los cuales también deberemos comprobar el grado de sostenibilidad. Lo habitual en nuestro sistema industrial es encontrar materiales cuyos procesos

de fabricación provocan contaminación del medio ambiente o daños para la salud de las personas. Y en el caso que estamos comentando no nos escapamos de dicho problema.

Algo parecido podríamos decir del final dado a estos materiales, una vez ya han sido usados y, en el mejor de los casos, han perdido las propiedades por las cuales fueron utilizados. De hecho, uno de los condicionantes de este tipo de estructuras es que se usan a menudo en edificios provisionales, donde las prestaciones del material perduran una vez finalizado el servicio de la estructura, y a menudo esa capacidad prestacional residual se pierde.

¿Qué hacemos con ellos? Se trata, en fin, de analizar todo el ciclo de vida del material:

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es un método normalizado (ISO 14040-14043) que permite medir los impactos medioambientales globales de un producto. Gracias a varios indicadores (de consumo de energía, de agua, desaparición de recursos naturales, toxicidad humana, desechos banales y peligrosos) los impactos potenciales del producto son evaluados durante todo su ciclo de vidaⁱⁱ (extracción de materias primas, fabricación, utilización, demolición, destrucción y reintegración al medio).

El ACV es la herramienta que debe permitirnos conocer los impactos ambientales generados por una determinada tensoestructura construida con unos determinados materiales. Y debe permitirnos descubrir los aspectos que resultan más impactantes y tratar de resolverlos de forma que su impacto ambiental –el impacto ambiental imputable a la habitabilidad que va a proporcionar- sea el menor posible. Asimismo, el ACV es la herramienta que debe ayudar a los fabricantes a descubrir los puntos débiles de sus productos y alinear sus investigaciones e inversiones para mejorarlos. Y también es la herramienta de comunicación entre productores y diseñadores y prescriptores. Disponer de Declaraciones Ambientales de Productos (EPD en sus siglas en inglés) es una herramienta básica para el desarrollo ambiental de las tensoestructuras, y un objetivo ineludible a corto plazo.

Las tres R en la tensoestructuras

¿Cuáles son las estrategias más determinantes que se pueden aplicar para mejorar la sostenibilidad de las tensoestructuras? Si su sostenibilidad depende del cierre de los ciclos materiales –eliminación de residuos- implicados en la habitabilidad que generan, podemos usar la regla de las tres R para realizar este recorrido.

a) Reducir

Reducir significa usar menos: menos materia, menos energía, menos contaminación,... Si observamos las tensoestructuras, esta reducción se muestra claramente en el aspecto de la ligereza: poco peso. En algunas cubiertas soportadas por aire, de algunos centenares de metros cuadrados, el peso de la cubierta puede estar alrededor de 1 kg/m². Difícilmente encontraremos otros sistemas constructivos que puedan compararse. Esto significa usar menos material, menos materia prima, menos transporte (que viene a ser un factor importantísimo en el aspecto de la contaminación), menos medios de montaje y finalmente menos residuo al final del ciclo de vida de dichas estructuras.

Y esta ligereza viene no solamente por el uso de un material ligero por excelencia: la membrana, sino por unas estructuras que utilizan sobre todo los esfuerzos de tracción para resolver el equilibrio estructural. La tracción es el esfuerzo que requiere menos material, sin importar la dimensión del elemento. Por el contrario la compresión, debido al fenómeno del pandeo, aumenta claramente el uso de material al trabajar con elementos largos y, finalmente, el esfuerzo de flexión también aumenta claramente (tanto de la pieza) al aumentar las dimensiones.

b) Reutilizar

La propia ligereza de este tipo de estructuras provoca que sea el más usado en estructuras desmontables, es decir en estructuras reutilizables. Ya desde la antigüedad, los pueblos nómadas nos han dado lecciones de cómo las estructuras ligeras, cómodas para el transporte, recurren al uso de membranas, cuerdas, etc. Es decir elementos traccionados, si bien es cierto que ciertas formas en cúpulas entretejidas con elementos lineales rígidos también producen construcciones muy ligeras.

En cuanto a la reutilización de los materiales separadamente, en el próximo apartado sobre la reciclabilidad ya se comentan las ventajas e inconvenientes de esta reutilización.

c) Reciclar

Aquí se trata de dar un nuevo ciclo de vida a los materiales. Si se trata de elementos lineales (cables, cuerdas, cintas...) no suele haber problemas en ello, pueden utilizarse para cualquier otro objetivo. Lo más probable es que los terminales no puedan ser reciclados, si es que se han usado terminales prensados, con resinas o metal fundido. En cambio, si se trata de terminales en cuña, con presillas o a presión, sí pueden ser reciclados o reutilizados.

En cuanto a las membranas el tema es más complicado y lo trataremos más adelante.

La reutilización

Continuamente nos encontramos en los textos informativos de muchos materiales la propiedad de "reciclable". Es una palabra que aparece casi siempre. Un material que no lleve este sello, no va a tener buena prensa. ¿Pero qué significa "reciclable"? Según la RAE "reciclable" significa que se puede reciclar. Y reciclar puede tener dos significados técnicos:

1. *tr.* Someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar.
2. *tr. Tecnol.* Someter repetidamente una materia a un mismo ciclo, para ampliar o incrementar los efectos de este.

La primera definición es tan general que prácticamente todos los materiales son reciclables, puesto que todos se pueden volver a utilizar, aunque solo sea como material de relleno, o incluso como material combustible para ser incinerado.

La segunda definición es mucho más precisa y hable de “repetidamente” y “a un mismo ciclo”, es decir algo parecido a “reutilizar”, comentado anteriormente.

Sin embargo, lo que proponemos aquí es observar la realidad. ¿Qué tanto por ciento de las membranas son recicladas? Contrariamente a la pregunta de si son reciclables o no.

Por un lado tenemos la construcción desmontable. Un ejemplo clarísimo de este tipo de elementos son las estructuras neumáticas o hinchables. Pero la desmontabilidad tampoco es reciclabilidad, aunque en general sí que las construcciones desmontables son reutilizadas. Lo que nos interesa en este caso es comprobar si las membranas de este tipo de estructuras que ya no se van a utilizar más son reutilizadas o recicladas.

En general, podemos afirmar que raramente se reutilizan las membranas excepto en ciertos casos:

1. Las membranas son realmente nuevas porque la estructura previa ha sido usada poco tiempo. Además la membrana no ha sufrido ataques físicos ni químicos durante el periodo de utilización.
2. El patronaje era muy simple, de forma que al eliminar las uniones todavía nos sigue quedando un ancho de patrón utilizable.
3. El nuevo cliente acepte este tipo de membrana.

Como vemos, son unas condiciones que no se suelen cumplir a menudo, por lo que la mayor parte de las membranas usadas no son reutilizadas. ¿Pero son recicladas?

De ahí viene el título de este apartado. Una vez las membranas se han desmontado y ya no van a usarse más, al usuario se le plantea la pregunta de qué hacer con ellas. ¿Tirarlas al vertedero o reciclarlas? Suponiendo que se trate de un usuario comprometido con el medio ambiente, y decida reciclar la membrana, debe encontrar el medio de hacerlo. Y desgraciadamente no existen muchos medios.

El reciclado

Tal como se ha comentado en el capítulo anterior, el reciclado de los materiales usados es una de las variables más importantes a considerar en la calificación como sostenible de un sistema o material constructivo. Naturalmente nos referimos a materiales que no pueden ser echados directamente a un vertedero.

Pero la verdad es que nos vamos a encontrar con muchos materiales diferentes utilizados en las tensoestructuras; y más concretamente en las membranas.

Si hablamos de membranas deberemos diferenciar las membranas tejidas (o incluso las no tejidas, pero con hilos) y las membranas isotrópicas, generalmente de un único material (láminas, films, películas, etc.). En las membranas con hilos tenemos además las membranas con recubrimiento, que les da un aspecto diferente y unas propiedades muy importantes: color, aspecto, impermeabilidad, barrera de vapor, soldabilidad...

Por lo tanto deberemos considerar como reciclamos el material de los hilos y el material del recubrimiento. Además el recubrimiento puede ser mono-material o ser un recubrimiento por capas, cada una diferente, con propiedades diferentes y con requerimientos de reciclaje también diferentes. Es decir, hablar de reciclaje de membranas significa hablar del reciclaje de cada uno de los materiales que la forman, y es obvio que para reciclar independientemente cada material lo primero que tendremos que hacer es separar dichos materiales, lo cual no parece una tarea sencilla desde un principio.

Evidentemente, si dedicáramos un apartado a cada uno de los posibles materiales que podemos encontrar en las membranas de las tensoestructuras, este texto se convertiría casi en un libro:

- tejidos de PVC, PE, poliéster, acrílicos, poliamidas, PTFE, fibra de vidrio, fibras metálicas, algodón, lino...
- láminas de poliéster, polietileno, PVC, ETFE...
- recubrimientos de PVC, PTFE, silicona, PVDF...

Vamos pues a hablar de los materiales más usados, y en este sentido hablaremos de los tejidos de poliéster recubiertos de PVC (el más usado con diferencia), tejidos de fibra de vidrio recubiertos de PTFE (teflón ®) y láminas de ETFE.

El caso del poliéster + PVC

Nos encontramos en este apartado con el tipo de membrana más utilizado en las tensoestructuras: tejido de hilo de poliéster de alta resistencia con un recubrimiento por ambas caras de PVC. El precio, versatilidad y facilidad de confección lo hace difícilmente imbatible en este contexto. Por lo tanto a la hora de hablar de sostenibilidad en las tensoestructuras será importante conocer qué sucede con este material.

Serge Ferrari, uno de los grandes fabricantes mundiales de este tipo de membranas desarrolló ya hace unos años un sistema de reciclado de estas membranas y lo registró con el nombre de TexyLoop®ⁱⁱⁱ. Al ser un sistema ideado por el propio fabricante permite abordar el proceso del reciclado de la membrana a partir de un conocimiento exhaustivo de la composición del producto. Y, en cualquier caso, nos muestra cómo la introducción de la demanda de sostenibilidad supone nuevas demandas que definen un nuevo campo de competitividad entre empresas y promueve la evolución tecnológica.

Vamos a fijarnos en este proceso no por el caso particular sino para que nos sirva de ejemplo de todo lo que puede significar reciclar una membrana de este tipo.

Los toldos en fin de vida son clasificados y triturados. A continuación se envían a la fábrica en contenedores. Seguidamente, los toldos pasan del box de recepción a la tolva de alimentación, punto de entrada en el proceso de reciclaje. Se introducen en el reactor de disolución selectiva: las fibras son disueltas, filtradas y extraídas. La solución va después a ser precipitada,

esto permitirá separar el PVC del disolvente. El disolvente va a ser regenerado y reinyectado en el circuito de reciclaje.

Los materiales obtenidos al final del proceso son dos: fibras cortas de poliéster y precipitado de PVC. Las fibras obtenidas son cortas y no se suelen usar para fabricar hilos, aunque esto está en proceso de revisión. El PVC granular se usa para fabricar láminas, cordones, y otros elementos de PVC prensado.

Se trata de un reciclado de materiales, no de elementos constructivos, ya que de una membrana no obtenemos otra membrana. Por lo tanto la manera de valorar la calidad del proceso de reciclaje deberá hacerse en términos generales más que en términos particulares.

Veamos un ejemplo a partir de los datos obtenidos al reciclar un tejido Précontraint 1002 S2^{iv}

Tipo de impacto	Reciclado Taxyloop	Incineración	Vertido
Disminución de materia prima <i>kg eq. Sb</i>	0,024	0,151	0,151
Calentamiento global <i>kg eq. CO₂</i>	2,572	4,757	4,104
Consumo de agua <i>litros</i>	139,6	341,3	339,6
Consumo de energía <i>MJ eq.</i>	59,7	103,3	103,3

Kg eq. Sb = kilos equivalentes antimonio^v

Otras membranas

La presión de organizaciones ambientalistas sobre el PVC ha obligado a los fabricantes de este producto a desarrollar tecnologías de reciclado que permiten hoy a las membranas de este material estar muy por encima de la capacidad de reciclado de otras membranas igualmente populares.

Por un lado las membranas de tejido de fibra de vidrio y recubrimiento de PTFE, si bien poseen una durabilidad mayor, lo cual es un valor añadido en este tema de la sostenibilidad, es cierto que una vez sobrepasado su ciclo de vida, lo más probable es que termine en un vertedero. El vidrio no es contaminante directamente, aunque en su obtención se haya consumido bastante energía y se haya producido abundante CO₂. El PTFE no deja de ser un polímero que también ha consumido su buena cantidad de energía en su fabricación, pero además lleva el componente de flúor (con referencias contaminantes) que pasará, mediante el vertedero, al suelo y de ahí a la cadena trófica.

Algo parecido le sucede al ETFE. En ese caso, sin embargo, nos encontramos ante una membrana mono-material. Es decir, en el proceso de reciclado no hace falta separar los componentes. Desgraciadamente, cuando hablamos de plásticos (polímeros u otros), lo más habitual es que dichos polímeros, al comercializarse vayan acompañados de otras sustancias: colorantes, plastificantes, antiestáticos, antibacteriales, etc. Por lo tanto, a pesar de tratarse de un mono-material, también debería sufrir un proceso de separación de componentes.

Sea como sea, podemos encontrar empresas que se dedican a la comercialización de pellets, grumos, fibras..., lo cual nos indica que sí existe reciclado de ETFE. Lo que no está tan claro es que sea ETFE de tensoestructuras o ETFE de otros objetos.

A modo de (primeras) conclusiones

De lo enunciado anteriormente, cabe inferir unas líneas de trabajo determinantes para mejorar la sostenibilidad de las tensoestructuras y que dispongan un nicho honorable de desarrollo en una sociedad necesariamente sostenible. Líneas que exigen imaginación, inversión y una innegable evolución tecnológica del sector:

- proyectar ajustando las performances de la tensoestructura a los requisitos de la habitabilidad que debe conseguirse. Es la principal ventaja competitiva de este tipo constructivo frente a sus alternativas, y cabe explotarlo y exponerlo.
- establecer mecanismos que permitan el mejor ajuste entre la durabilidad de los usos no permanentes con la durabilidad de los sistemas y su reuso, cuestión que afecta a la normalización y tipificación, así como a mecanismos de gestión que permitan la recuperación los elementos para su reuso y de los materiales para su reciclado.
- mejorar los procesos de fabricación de los distintos componentes de las tensoestructuras entendiendo que la disminución de su impacto ambiental es una de las exigencias clave de su inmediato futuro y requiere visión e inversión. La I+D+i en ese campo debe apoyarse en el desarrollo de esas exigencias en sus materiales básicos.
- mejorar los procesos de reciclado de los distintos componentes de las tensoestructuras limitando los residuos imputables a cada ciclo de uso. Ello incluye especialmente la separación de los materiales componentes de las membranas para su reciclado específico.
- aumentar y difundir la información sobre los impactos ambientales de los materiales que forman las tensoestructuras de forma que puedan particularizarse a cada proyecto. La generación y difusión de esa información es clave para que las tensoestructuras evolucionen hacia la sostenibilidad y se genere un nuevo plano de competencia entre productores para lograrlo.

ⁱ http://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento_global

ⁱⁱ http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_vida_del_producto

ⁱⁱⁱ <http://www.texyloop.com/Faq>

^{iv} <http://es.sergeferrari.com/arquitectura-ligera/toldo-preconstraint-s2-fluotop-t2-back-pvdf/>

^v ISO 14042