

## **SIP en Geomembranas: ¿Una condición aceptable?**

por Ing. Mark E. Smith

La separación en Plano, o SIP, es un fenómeno que ocurre cuando algún material -- en este caso, la geomembrana -- se cizalla paralelamente o sub-paralelamente a la superficie. En una hoja múltiple, como el Hypalon® y el polipropileno reforzado, una de las formas de la SIP es la de-laminación de los pliegues individuales. Por lo tanto, el término de-laminación se aplica también para esta condición. Imagen de la Foto 1 demuestra la condición mencionada mejor que alguna descripción.

La geomembrana más comúnmente utilizada en aplicación minera es el polietileno, usualmente con característica de densidad alta (HDPE) o resinas de densidad baja lineal (LLDPE). La SIP prácticamente no existe en caso de LLDPE pero ocasionalmente ocurre en HDPE. En este artículo se refiere a la SIP en HDPE.



FOTO 1:

Separación en el centro de la hoja HDPE de 2.0 mm

### **¿Como se detecta SIP?**

Usualmente, la SIP se descubre durante de los ensayos de uniones soldadura, dado que estas uniones regularmente están sujetas a ensayos de corte directo y descortezación conforme a especificaciones. Por lo tanto, la primera identificación de la SIP es normalmente responsabilidad de personal encargado de asegurar de control de calidad de construcción. La mayoría de las especificaciones de HDPE no mencionan la separación en plano y por lo tanto surge allí un problema muy serio acerca de aceptación de funcionamiento de SIP; dado que la interpretación de especificaciones de la construcción es

subjetiva, ello origina muchos reclamos y discusiones. De tal manera, anticipar el problema relacionado con especificaciones podría evitar atrasos costosos de la construcción y también discusiones sobre los contratos.

Se estima que cerca del 1% de la producción de HDPE presenta señales de SIP, la mayoría de ellos presentes exclusivamente en geomembranas a partir de 1.5 mm (60 mil) de espesor. En realidad, en la práctica no existe información sobre el funcionamiento de HDPE a largo plazo, que describa los problemas o ausencia de ellos en lo que respecta a la separación en plano. La falta de información es el problema principal, dado que el mayor interés está en el funcionamiento a largo plazo, y este factor es más difícil de verificar, especialmente durante de la fase de construcción.

### **¿Cuales son las Causas de SIP?**

Las resinas (geomembranas) de polietileno de alta densidad se producen por mezclado o 'composición' de HDPE puro, usualmente con algunos polietilenos de densidad más baja para mejorar tanto la resistencia a rajaduras (por presión) como la producción de planta. La mezcla con el negro de humo y otros aditivos se realiza para asegurar la resistencia a los rayos ultravioleta y fortalecer otros factores. En otros casos se agrega revestimiento reciclado, generalmente llamado "regrind" (remolido). En algunas plantas se utiliza exclusivamente los jebes pre-compuestos, los cuales son formulados y mezclados en las plantas de jebe y se suministran preparados para el uso. En algunas fábricas se utilizan los jebes pre-compuestos y varias mezclas de la planta, que permiten a optimizar las propiedades físicas, así como producción y costos.

Una vez compuesto, la resina se calienta hasta el punto de fluidez, acerca de 230°C (450°F), para ser posteriormente extrusada por la matriz plana o circular. En caso de la matriz circular la resina líquida se extrusa toma la forma de un tubo vertical. El tubo se jala hasta arriba y se deja enfriar con la circulación del aire. En el caso de la matriz plana la resina se extrusa en laminas refrigerantes. Las transiciones de HDPE de plástico amorfo a semi-cristalino suceden a una temperatura cercana a los 125°C (260°F). El proceso de enfriamiento más lento produce una cristalización de alto grado, una mayor densidad y mayor fuerza de tensión. El proceso de enfriamiento más rápido causa el efecto opuesto.

### **La causa de la SIP**

Entonces, ¿que produce el fenómeno de la SIP? En este aspecto no hay consensos en la industria. Las opiniones tienden a agruparse en las siguientes áreas generales:

1. El enfriamiento rápido de la geomembrana al ser extrusada en la planta. Esto produce un gradiente de cristalización en la sección de cruce de hojas y dando al núcleo un módulo de elasticidad, densidad y fuerza de tensión diferente que en las zonas externas.

2. Una temperatura ambiente elevada en la planta. Este factor retarda el enfriamiento diferencial, y también detiene el proceso de enfriamiento total. A su vez, ello causa mayor densidad, mayor módulo y mayor fuerza de tensión por el cruce de la hoja. En este caso es el módulo mayor el cual podría contribuir en el comportamiento de la SIP.
3. Una dispersión o mezcla inapropiada del aditivo negro de humo u otros, o mezcla inapropiada de resina en general.
4. Todo los factores ya mencionados.

Las dos primeras opiniones están basadas en la idea de que la SIP es más común en las hojas de mayor grosor y – al menos en la opinión de un fabricante, - es una situación que ocurre sólo durante de las temperaturas máximas del verano. La tercera teoría está basada por los casos específicos de SIP que han sido directamente atribuidos al uso de las resinas preparadas (mezcladas) en la planta, y porque la SIP es mucho más común en la hoja con negro de humo que en las hojas claras. En este artículo nos inclinamos por el cuarto punto, es decir, por suponer que el problema se produce por una combinación crítica de todos estos factores, que originan este fenómeno poco común.



FOTO 2:  
2.0 mm HDPE con separación de forro-núcleo

### **¿Es la SIP un fenómeno aceptable?**

La voz de consenso geosintético en las Américas es el Geosynthetic Research Institute (GSI). El Geosynthetic Research Institute elabora las especificaciones

después de las investigaciones consideradas por el comité y observaciones de los miembros. Algunos ingenieros de diseño adoptan estas especificaciones sin objeciones y enteramente, otros las adoptan como una referencia o con modificaciones, e incluso algunos las ignoran.

The American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Ensayos y Materiales, ASTM) es la principal organización que establece los estándares para ensayos de materiales. Ellos vienen elaborando las especificaciones geosintéticas desde que la industria comenzó a producir el material. El uso de las especificaciones ASTM por ingenieros de diseños y fabricantes es prácticamente universal en América del Norte y bastante común en un balance de las Américas.

Recientemente, el GSI ha publicado las especificaciones para las uniones. Ellas se refieren a la SIP (GRI-GM-13, 17 y 18 {borrador} para HDPE, LLDPE y polipropileno). Recientemente también, la ASTM ha elaborado el Método de Ensayo D-6392, "Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-fusion Methods." (Método de Ensayo Estándar para Determinación de Integridad en las Uniones de Geomembrana nN-Reforzadas Producidas por Fusión Térmica)

Ambos de dichos documentos se refieren a la SIP y la consideran un patrón de rotura aceptable. Lo cual quiere decir que una unión que presenta separación por la SIP en la hoja base es una unión aceptable. La lógica aquí reside en que, dado que la resistencia de una unión no puede ser mayor que la resistencia de la hoja base, los ensayos – de los uniones -- que terminan por mostrar una separación en plano son considerados aceptable.

Esto ha causado una confusión en la industria; algunos fabricantes han utilizado estos estándares para implicar que la SIP en la hoja base también es aceptable. Definitivamente esto no es lo que dicen los estándares ASTM y GSI. El objetivo de las especificaciones estándares es establecer un criterio estandarizado de aceptación / falla para las uniones soldadas en el terreno. Dichas especificaciones no se refieren al problema de la SIP en la hoja base.

Ni ASTM ni GSI han enfrentado el asunto de si la SIP constituye el comportamiento aceptable de la hoja base. Hay consenso en torno a que el comportamiento de la SIP en la uniones realizadas en terreno no constituye una unión de falla; la unión o costura es esencialmente tan buena como la hoja base. No hay consensos referentes a que significa la SIP para el funcionamiento de la hoja base. En otras palabras, esto plantea una pregunta: ¿el comportamiento de la SIP supone un problema a largo plazo, que puede acortar su vida útil? Es una muy buena pregunta, especialmente cuando el propósito es una aplicación oculta, tal como un pad de lixiviación o un depósito de relaves.

La mayoría de los fabricantes están de acuerdo en que la SIP es un fenómeno aceptable y han publicado documentación a favor de su posición. Sin embargo, en cada uno de los documentos se argumenta que, por ejemplo, la “SIP no es una falla de unión.” Como ya hemos puntualizado antes en este texto, uno de los fabricantes considera que el fenómeno es normal y esta causado por el efecto de enfriamiento de la capa exterior. Otro opinión es que esto se produce por altas temperaturas ambientes. Una tercera opinión atribuye el problema, en algunas instantes específicas, al uso de resinas mezcladas en la planta versus resinas precompuestas. Ninguno de estos estudios ha hecho ensayos en un plazo lo suficientemente largo como para probar sus hipótesis o mostrar si existe un problema potencial, y si es así, bajo qué condiciones se debería esperar la aparición de dicho dificultad.

Uno de los problemas más antiguos y serios con HDPE es el grado excesivo de cristalización, o alta cristalización. Los revestimientos anteriores tenían problemas con las fallas de fatiga, rotura de uniones y fragilidad por la alta cristalización. Las resinas de geomembranas modernas se caracterizan por la cristalización significativamente más baja y de más baja densidad en comparación con las características de las hojas de hace 20 años, y las formulas modernas prácticamente han eliminado los problemas de fracturas por presión. Pero, en caso que la sugerida cristalización excesiva de la SIP o un gradiente excesivo de cristalización, es posible pensar que la SIP es una señal de advertencia de la rajadura de presión; una condición que podría tomar años para manifestarse en el terreno.

Por otra parte, si la SIP está relacionada con la mezcla y dispersión de los aditivos, como lo demuestran las evidencias, entonces la SIP podría ser una advertencia de la existencia de una mezcla inadecuada, de una dispersión incompleta o resina pobremente compuesta. O, en otro caso, una advertencia de una problemática combinación de la mezcla imperfecta o cristalización excesiva. Una mezcla pobre de negro de humo y otros aditivos puede reducir significativamente la resistencia a los rayos ultravioletas, así como causar otros problemas.

En nuestra opinión, ha existido una inadecuada comprensión de la ciencia hacia el fenómeno de la SIP, simplemente aceptándola sin consideración posterior. Para las instalaciones críticas donde la geomembrana no puede ser directamente monitoreada y no hay posibilidad de un reemplazo razonable – cosa que ocurre en la mayoría de las pilas de lixiviación o en las instalaciones de los depósitos de relaves -- la decisión de usar un revestimiento en que se observa el fenómeno de SIP tiene que ser tomada cuidadosamente por el ingeniero. La responsabilidad del ingeniero para tomar esta decisión no debería ser anulada a favor de especificaciones estandarizadas (asumiendo que ellas hayan sido promulgadas) que no pueden anticipar las demandas específicas de desarrollo del proyecto. Por otro lado, el rechazo de material durante de la construcción por causa de la SIP puede resultar problemático en caso que las

especificaciones no anticipen esto, y muchas de ellas no lo hacen. Por lo tanto, la decisión debe tomarse antes que las especificaciones se escriban y los contratos de construcción se firmen, y así el comportamiento aceptable esté claramente definido en las especificaciones.

---

Ing. Smith es ingeniero geotécnico, con más de 20 años de experiencia en trabajos geotécnicos aplicados en la minería y gran experiencia en geomembranas alrededor del mundo. Es cofundador de Vector Engineering, Inc. (California, EE. UU.) y actualmente es gerente de operaciones para América del Sur. Trabaja y vive en Lima, Perú. Las opiniones sobre este artículo pueden enviarse vía correo electrónico a: [smith@vectoreng.com](mailto:smith@vectoreng.com).

Publicado en: el Perú Minero, VII-No. 39, Nov-Dic del 2001 y The Latin America Mining Record, V. 8, No. 4, Jul-Ago del 2001.