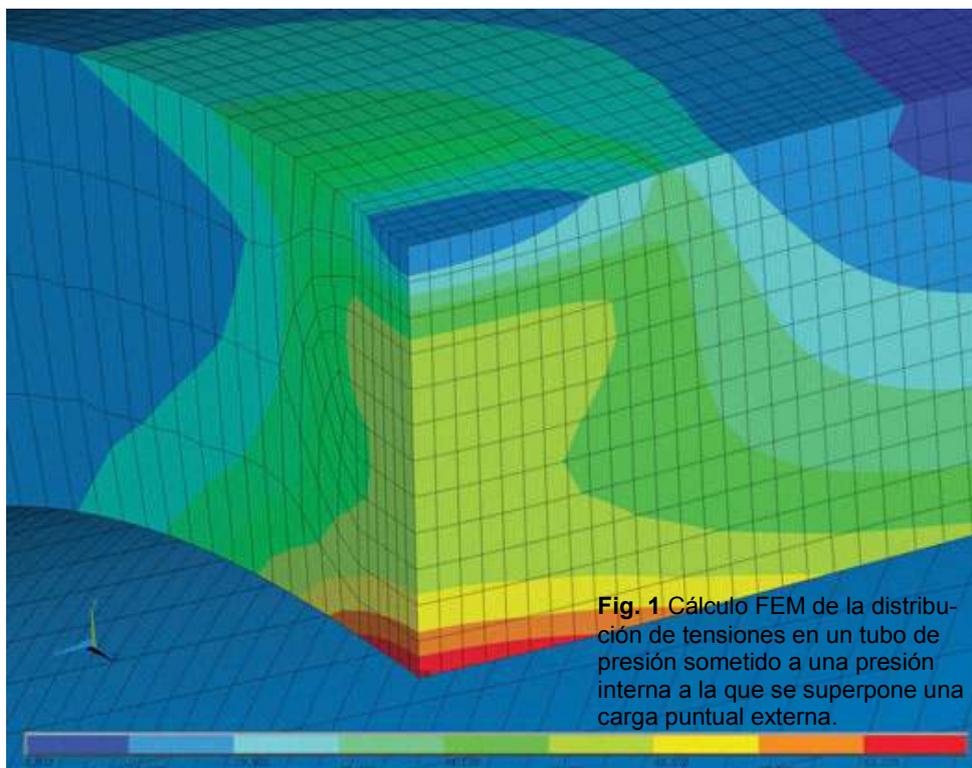


# Nuevos desarrollos de la geotermia cercana a la superficie con sondas geotérmicas verticales

**Material para sondas** ■ La captación de la energía geotérmica con sondas y colectores geotérmicos ha experimentado un auge enorme en los últimos años. Al compás de este crecimiento se han desarrollado y empleado también nuevos materiales, que presentan características notablemente mejoradas y permiten asimismo nuevas posibilidades de aplicación en comparación con los materiales convencionales para tubo PE-80/PE-100 empleados antaño. Estas mejoras se centran en la utilización de polietileno reticulado, en particular de PE-Xa. Las sondas y colectores geotérmicos fabricados con este material ofrecen ventajas en cuanto a resistencia a la tensofisuración, resiliencia y resistencia a las cargas puntuales con respecto al polietileno no reticulado. Aparte de esto, gracias a su resistencia a las temperaturas de hasta 95 °C, las sondas geotérmicas de polietileno reticulado permiten la instalación de acumuladores de sonda geotérmica y la inyección - sin reparos - al subsuelo del calor sobrante procedente de una instalación solar.

En un escenario de costes energéticos crecientes y de limitación de las emisiones de CO<sub>2</sub> en todo el mundo, así como de capacidad de cobertura de la carga base exigida por el consumidor, la utilización de la geotermia cercana a la superficie está adquiriendo una gran importancia. En los primeros tiempos de la geotermia cercana a la superficie estaban todavía ampliamente difundidos los sistemas de bucle semiabierto basados en acuíferos (“standing column wells”), que aprovechan directamente el calor contenido en los mismos. Sin embargo, este tipo de captación geotérmica exige seguir siempre un largo proceso de obtención de permisos de aprovechamiento y vertido de aguas, que se conceden únicamente cuando no se interconectan horizontes de acuíferos existentes. Además debe garantizarse que durante años será posible sin problemas la inyección a presión del agua extraída en el denominado “pozo de inyección”. Además, en los sistemas basados en agua, la potencia máxima de extracción alcanzable queda limitada por el punto de congelación del agua.

Por los motivos antes señalados, hoy en día se emplean para la captación de la energía geotérmica casi exclusivamente circuitos cerrados (“Closed loop installations”). Una mezcla glicol-agua asume en los mismos la función de fluido caloportador. Hasta entrados los años 90 se instalaban principalmente sondas doble U a profundidades de hasta 100 m. Dado que en un terreno no alterado el gradiente de temperatura es positivo con respecto a la profundidad, lo cual permite incrementar la potencia de captación para usos de calefacción, la tendencia, p.ej. para la rehabilitación



térmica de edificios viejos, es hacia sondas geotérmicas cada vez más largas, esto emparejado con una disponibilidad de espacio reducida, debido a las construcciones vecinas eventualmente existentes. Hoy en día son viables técnicamente los pozos con profundidades finales de algunos cientos de metros, que sin embargo plantean unas exigencias notablemente superiores al material de las sondas que antes.

También están adquiriendo una gran importancia el “refrescamiento geotérmico” (“free cooling”), así como la combinación “calefacción + refrescamiento con geotermia”). Los sistemas modernos deben estar preparados también para una rápida regeneración de la fuente de energía “subsuelo”, p.ej. inyectando el un exceso de calor de origen solar. Asimismo debe garantizarse su seguridad operativa durante decenios.

El ingeniero proyectista debe seleccionar la sonda geotérmica profunda óptima y más rentable para la obra prevista, en función del método de sondeo, de la profundidad final, de las condiciones del terreno y de la cantidad de calor a captar. Esta decisión sobre el material se ve dificultada, porque en el sector no existe un estándar de calidad actualizado y reconocido o una norma de ensayo reconocida para sondas geotérmicas que incorporen características de protección especiales, a lo cual se añaden indicaciones contradictorias y en parte confusas en los reglamentos e instrucciones aplicables a los trabajos de instalación de estos tipos especiales de sonda.

En lo que sigue responderemos a la pregunta acerca de qué generación de material para sondas

geotérmicas se puede utilizar ventajosamente para qué proyecto de obra a partir de informes sobre experiencias hechas en el laboratorio y en la práctica, facilitándole así al ingeniero proyectista, a la empresa de sondeos y al usuario una guía comprensible para que pueda tomar una decisión acerca de la calidad de tubo a emplear.

### **Materiales modernos para la realización de sondas doble U**

El constante perfeccionamiento de los materiales poliolefinicos empleados para la fabricación de las sondas hace posible hoy en día desarrollar sondas geotérmicas con un rendimiento cada vez mayor y más seguras.

Las cargas a las que se ve sometido el sistema de tubos de presión geotérmicos enterrados, tanto durante la colocación como a lo largo de un periodo de servicio de decenas de años, varía mucho en función del método de colocación escogido, del subsuelo circundante, del contacto con aguas freáticas, de la profundidad final elegida, del material de relleno y de los estados operativos “Calefacción” o “Refrescamiento”. En cualquier caso debe quedar garantizado un funcionamiento libre de incidencias y seguro de la instalación geotérmica en el transcurso de toda su vida útil económicamente rentable. En los modernos sistemas de sonda enterrada, a las temperaturas y presiones de servicio habituales, se debería partir del supuesto de un periodo de utilización de mín. 50 o, mejor, 100 años.

Un factor que dificulta la estimación de las cargas que actúan durante el periodo operativo de decenas de años sobre el sistema de sonda a colocar es que muchos de los factores de influen-

**Fig. 2** Daño causado por una carga puntual en una sonda geotérmica de PE100 rota (vista sobre la cara interna del tubo, carga puntual desde el exterior)



cia arriba señalados sufren una continua variabilidad, tanto temporal como espacial, a lo largo del pozo.

El subsuelo o los terrenos montañosos, por ejemplo, raramente presentan una composición homogénea a lo largo de todo el pozo. Prácticamente queda descartado un pozo “libre de estrías”. Un “pozo recto”, sin el más mínimo cambio de dirección, apenas se produce, ni en la teoría ni en la práctica. A esto se le une que la operación de colocación en sí de la sonda se realiza a muchos metros de profundidad, de forma totalmente oculta al equipo instalador.

Tampoco son apenas estimables para las sondas geotérmicas colocadas de esta forma valores orientativos sobre las cargas puntuales producidas, p.ej. causadas por piedras que sobresalen en el pozo o por un aumento del volumen cuando se congela el mismo, porque no pueden calcularse la posición de la carga puntual ni la correspondiente fuerza normal actuante sobre el tubo.

En consecuencia, el proyectista responsable hará bien en no prescribir para ninguna instalación geotérmica de alta calidad el sistema más barato, menos resistente a las cargas puntuales y diseñado para temperaturas máximas de sólo 40 °C y en no confiar en que no se producirán durante los trabajos de instala-



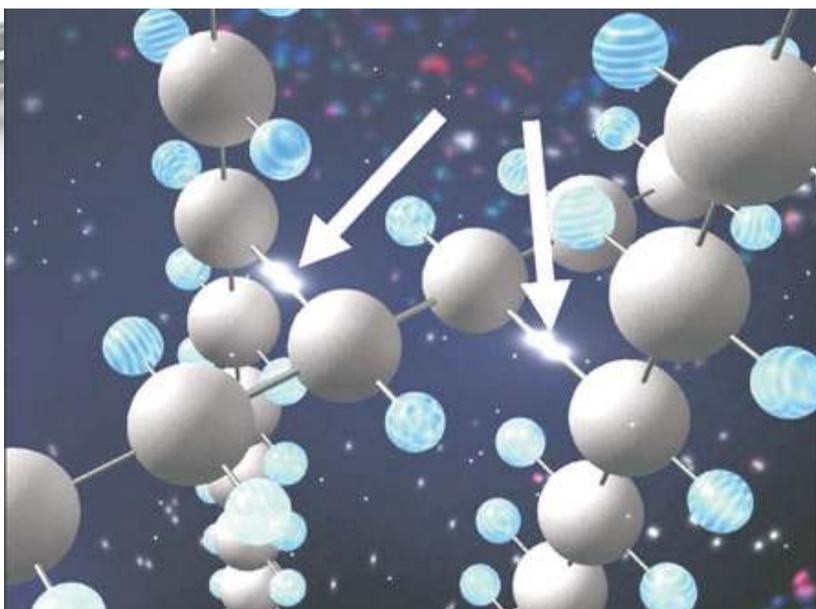
**Fig. 3** Sonda doble U resistente a las cargas puntuales en PE-Xa según DIN 16892/DIN 16893

ción y el periodo de utilización cargas extraordinarias (cargas puntuales, estrías, etc.). Antes bien, deberá utilizar a priori un sistema de tubo de fácil colocación y seguro, para el que se haya probado en el laboratorio de ensayos y en la práctica su idoneidad para las cargas puntuales, las estrías y las temperaturas de hasta 95°C, porque con el primer daño que sufriera la sonda geotérmica no sólo quedaría fuera de servicio la instalación completa, sino que se ocasionarían también elevados costes consecutivos (nuevo pozo, nuevo proyectado de la sonda), que superarían con creces el sobreprecio de una sonda que presente grandes reservas de seguridad en comparación con las sondas de PE-100 sencillas.

Finalmente, como materiales obviamente sometidos al control de las autoridades de inspección de obras que son, las sondas geotérmicas enterradas deben haber sido homologadas para su utilización con el medio operativo y la presión de servicio respectiva por un laboratorio de ensayos acreditado y estar sometidas a un control de calidad externo continuo.

### **Clasificación de las sondas geotérmicas resistentes a las cargas puntuales en instalaciones verticales**

Los sistemas de tubos de presión de paredes compactas en material estándar PE 100 según



**Fig. 4** Reticulado tridimensional de malla amplia por medio de enlaces covalentes C-C muy intensos en el PE-Xa

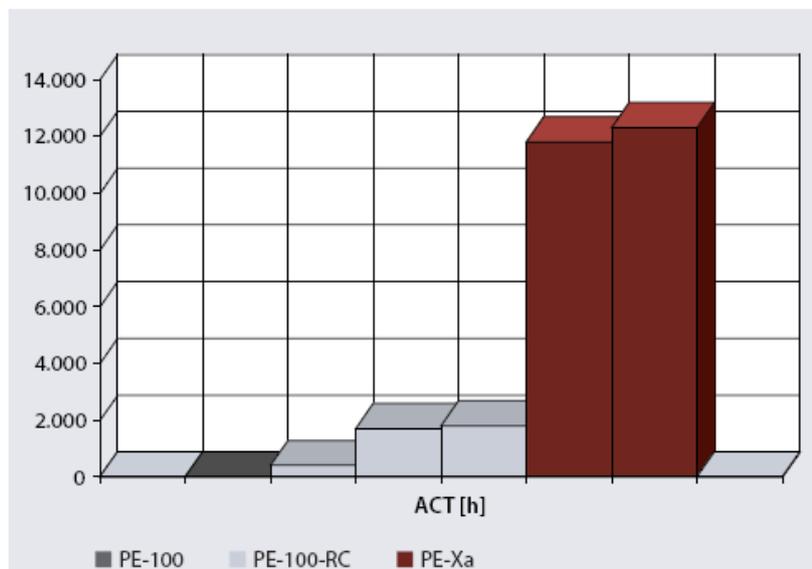
EN 12201/EN 1555 y DIN 8074 /DIN 8075 están acreditados desde hace decenios en usos de abastecimiento con gas y agua, pero debido a la limitada resistencia del material de los tubos al crecimiento lento de grieta, para su correcta instalación requieren siempre un lecho de arena que proteja los tubos contra las cargas puntuales. Por esta razón, en la actualidad estos sistemas de tubo se emplean ya sólo para técnicas poco exigentes, como p.ej. el montaje convencional sobre un lecho de arena en zanja abierta y constituyen, por consiguiente, la “gamma baja” de los sistemas de tubos de presión poliolefinicos.

En los primeros tiempos de la geotermia, estos sistemas de tubo se emplearon también para la fabricación de sondas geotérmicas verticales según VDI 4640. Sin embargo, pronto se observó que al introducir este tipo de sondas en un pozo, en la práctica se ocasionaban siempre estrías y muescas en la sonda. Es precisamente la punta de la sonda, que debido a la presión hidrostática ejercida por el agua glicolada está sometida a una

presión interior más fuerte y duradera después de haber recorrido todo el pozo, la que por experiencia está sometida a un mayor esfuerzo.

Además, después de colocados, estos sistemas de sonda realizados con materiales de PE-100 sencillos se deben aislar perimetralmente con un material que los proteja contra las cargas puntuales. Sin embargo, se sabe por experiencia que no es posible fijar concéntricamente sobre todo su largo la sonda dentro del pozo, para que el material aislante proteja perimetralmente el tubo contra las cargas puntuales causadas por un terreno pedregoso. En consecuencia, en este tipo de instalaciones hay que contar por principio con la aparición constante de cargas puntuales en las inmediaciones de la tubería, que actúan durante decenios sobre el sistema de tubo.

Cálculos FEM conocidos y aparecidos en numerosas publicaciones muestran de forma ilustrativa que un tubo de presión en servicio montado de esta forma soporta la máxima tensión en su cara interior. En consecuencia,



**Fig. 5** Resultados de diferentes materiales de tubo en el ACT

un tubo sometido a una carga de este tipo fallará desde este punto de tensión máxima a consecuencia de un crecimiento lento de grieta ("slow crack growth", SGC), a menos que no sea protegido con medidas especiales. Los mecanismos de fallo están suficientemente estudiados y los métodos de ensayo para la valoración de la calidad del tubo cuando se producen cargas puntuales están consolidados (**fig. 1**).

Las sondas geotérmicas sometidas simultáneamente a una carga puntual y a una presión interna fallan por regla general tras algunos años de actuación de la carga puntual, a causa de una fractura frágil sin componentes dúctiles reconocibles. Como consecuencia de ello el agua glicolada, que está bajo presión, escapa de la sonda geotérmica. El circuito del agua glicolada queda perturbado y el funcionamiento de la instalación geotérmica completa falla. En caso necesario puede conmutarse, en modo de emergencia, a circuitos de sonda todavía operativos, siempre que se hayan previsto los elementos de corte correspondientes y que éstos sean

accesibles rápidamente, sin necesidad de realizar trabajos de excavación (**fig. 2**).

Algo más segura frente a tales mecanismos de fallo causados por cargas puntuales son las sondas geotérmicas verticales, fabricadas en un PE resistente específicamente al crecimiento lento de grietas (p.ej PE 100-R "Resistant to Crack"), con base principalmente de copolímero hexeno.

También estos sistemas de tubo han sido regulados por vez primera en la PAS 1075 "Tubos de polietileno para técnicas de instalación alternativas - Dimensiones, requisitos técnicos y ensayos", aparecida en junio de 2009, pero siguen cumpliendo además todos los requisitos básicos de la DIN 8074/75 y la EN 12201/EN 1555/EN 13244 y la VD4640.

Las sondas geotérmicas de PE 100-RC según PAS 1075 deben ser sometidas en particular a un control de calidad periódico por parte del propio fabricante y de un laboratorio de ensayos acreditado, que asegure que se alcanzará un periodo de



**Fig. 6** Sonda PE-Xa con cabezal de sonda optimizado hidráulicamente, carente de toda costura de soldadura

vida útil de mínimo 100 años incluso al utilizar el sistema de rellenado y la técnica de montaje habitual en la obra y a pesar de que estén actuando algunas cargas puntuales sobre la conducción.

Sin embargo el aplicador y el proyectista deberán proceder con especial prevención en la medida en que se ofrecen sondas geotérmicas que son publicitadas como "resistentes a las cargas puntuales" o que están fabricadas con materiales que llevan designaciones propias del fabricante, tales como "PE 100 VRC", "PE 100 RC plus", etc., pero carecen de la evidencia documental escrita de calidad según PAS 1075, emitida por un laboratorio de ensayos acreditado. Con estas sondas existen siempre dudas acerca de si realmente se ha suministrado el tubo requerido para el caso concreto de aplicación, compuesto al 100% de PE 100-RC según PAS 1075. No existe tampoco una prueba rápida, válida en todo el sector y accesible al usuario, que le permita valorar de forma cualificada la idoneidad y calidad de los diferentes materiales que constituyen las capas del tubo.

Los métodos de ensayo requeridos para la evaluación de las sondas de PE 100-RC durante el

## Fundamentos, desarrollos, perspectivas



**Fig. 7** Clasificación de las soluciones de sonda geotérmica ofrecidas en el mercado



**Fig. 8** Posición de montaje de las sondas helicoidales en PE-Xa

**Fig. 9** Nueva sonda helicoidal en PE-Xa (embalada para el transporte y preparada para su instalación)



de 100 años, y bajo las condiciones en la obra ya están establecidos y acreditados. Han demostrado ser especialmente adecuados en este sentido los métodos de ensayo FNCT, el ensayo de cargas puntuales y la fatiga térmica. Aparte de esto, cuando se conoce la correlación ha demostrado ser adecuado acortar los tiempos de ensayo, tanto para el primer ensayo como para el ensayo de control, por medio de métodos de ensayo acelerados. Adquiere particular importancia en este sentido el “accelerated creep test (ACT)”. La recién publicada PAS 1075 representa, también para las sondas geotérmicas verticales de PE 100-RC, un hito en materia de aseguramiento de calidad, que rebasa con mucho el estado de la técnica para sondas geotérmicas no reticuladas, fijado hasta la fecha por la VDI 4640.

Como requisito mínimo de calidad de la materia prima para estos sistemas de tubo ha probado ser adecuado y controlable en la práctica un ACT de > 320h (medido en la granza de cada lote de materia prima). El ensayo continuo de aseguramiento de la calidad de los tubos de paredes compactas fabricados con esta materia prima debería tener un ACT de > 160h, medido en probetas de tubo, con una frecuencia de ensayo de mín. 1 x año y grupo de fabricación.

Los tests estándar para la valoración del crecimiento lento de grieta desarrollados hace decenios (p.ej. FNCT), con los modernos materiales para tubo PE 100-RC actuales ya no resultan apropiados para discernir una seguridad frente a la tensofisuración, porque se alcanzan fácilmente durabilidades de más de 8.760 horas. Con estos tiempos de ensayo tan largos, que no

eran previsibles cuando se desarrolló el método de ensayo, se verifica fundamentalmente la resistencia del material a la fatiga térmica. Además se debe asegurar por medio de medidas apropiadas que los reticulantes empleados no se descompondrán oxidativamente durante este tiempo de ensayo, perdiendo su efectividad. Por esta razón, cuando la correlación con métodos acelerados (como p.ej. el ACT) es conocida y está confirmada, los ensayos de homologación que exigen p.ej. un FNCT de > 8.760h para la valoración de la resistencia a la tensosifuración de un material de PE, resultan inapropiados.

Incluso a pesar de haber podido mejorar en las sondas de PE 100-RC la resistencia a las cargas puntuales con respecto a las sondas de PE 100, el PE 100-RC y el PE 100 siguen compartiendo un punto débil, como es que su resistencia a la temperatura es muy limitada y que las propiedades de los tubos de presión se deterioran rápidamente más allá de los 40°C. Dada esta resistencia a la temperatura limitada a los 40°C, la inyección con sondas de PE 100-RC o PE 100 del calor sobrante de una instalación solar a una instalación geotérmica no es posible sin reparos.

Mientras que el continuo perfeccionamiento de los materiales de polietileno no reticulado de los último decenios, que ha llevado desde el PE63, pasando por el PE80, hasta la culminación que representa la actual generación de material "PE 100-RC", la "clase reina" de las sondas geotérmicas verticales la sigue constituyendo un sistema de sonda de polietileno reticulado PE-Xa según DIN 16892/ DIN 16893. Mientras que las

reglas técnicas reconocidas para el primer ensayo, el ensayo de homologación y el ensayo de control de calidad para los nuevos tipos PE 100-RC sólo existen desde junio de 2009, con la publicación de la PAS 1075, las normas de aplicación específicas para este tipo de productos, DIN 16892 y DIN 16893, existen ya desde hace muchos años. Además, actualmente vienen transportando ya desde hace varios decenios con fiabilidad los medios más importantes, como gas, agua y aguas residuales por varios millones de km de tubos de presión que a menudo han sido instalados bajo las condiciones más difíciles y exigentes (fig. 3).

Las propiedades más sobresalientes del polietileno reticulado a alta presión ya fueron descritas por su inventor, Engel: la reticulación uniforme de las largas moléculas de polietileno mediante auténticos enlaces covalentes carbono-carbono (¡aprox. entre 1 de cada 200 átomos de carbono!) en el estado fluido del material representan actualmente el mecanismo de actuación reconocido y mejor contra el crecimiento tanto lento como rápido de grieta en el polietileno. En comparación con el efecto de los tipos PE 100 y PE 100-RC bimodales, que se fundamenta únicamente en las moléculas enlazantes, para romper un enlace covalente carbono-carbono auténtico se precisa una energía de activación varios órdenes de magnitud mayor que para desenredar moléculas únicamente "enlazadas". De ahí que los sistemas de tubo de alta calidad en material PE-Xa presenten la mayor seguridad conocida actualmente frente a la iniciación de fisuras, así como frente al crecimiento tanto lento como rápido de grieta, incluso

bajo temperaturas de servicio elevadas (fig. 4).

Para el proyectista técnico y el usuario, los criterios de aceptación para el uso inequívocos e inconfundibles de sistemas de tubo de alta calidad en PE-Xa bajo las condiciones de instalación más difíciles aparecen reflejados ya desde 2004 en normas de instalación de referencia para la renovación sin zanja de canalizaciones de abastecimiento con gas o agua mediante *pipe bursting* (fractura de tubería), p.ej. en la GW 323, edición de junio de 2004:

### Requisitos mínimos que debe cumplir el material de la canalización

"Los tubos de PE-Xa no requieren una protección exterior adicional, debido a su alto grado de reticulación y tenacidad".

El alto grado de satisfacción y las reservas de seguridad que comporta un sistema de tubos de PE-Xa enterrados en el empleo práctico son indudables, pero hasta ahora se carecía de un método de ensayo, que permitiera ilustrar la calidad superior del material PE-Xa frente a las poliolefinas no reticuladas, como el PE 100-RC.

Gracias al ACT se ha conseguido comparar probetas de PE-Xa (obtenidas a partir de tubos) con probetas de PE 100 y PE 100-RC, sin alcanzar el ámbito de la fatiga térmica a causa de los tiempos de ensayo extremadamente largos, superiores a las 8.760 h. Los resultados en el laboratorio de ensayos confirman la alta calidad de los tubos de PE-Xa reticulado de gran pureza (fig. 5).

Los resultados de este estudio ACT comparativo señalan que, además de la conocida clase

## Fundamentos, desarrollos, perspectivas

PE 100, que en el ensayo alcanza únicamente durabilidades situadas en el intervalo de 20 hasta aprox. 100h, el material para tubos PE 100-RC alcanza durabilidades de aprox. 300 hasta casi 1.900h cuando se ensayan probetas fabricadas a partir de granza. Cuando las probetas se obtienen a partir de tubos extrusionados, la tendencia de los resultados es mayormente hacia valores más bajos. En función de la calidad de fabricación se alcanzan valores ACT de >165h, hasta aprox. 700h. En un ensayo ACT de probetas de PE-Xa, que debido al complejo proceso de fabricación del PE-Xa, únicamente pudieron ser obtenidas a partir de tubos extrusionados, se produjeron fracturas después de 11.771h y 12.124h. Es decir, que el PE-Xa presenta una durabilidad 17 veces superior en el ACT que las muestras de tubo de PE100-RC y, con ello, una calidad a largo plazo mejorada. Esta durabilidad superior reconocida del PE-Xa en el ACT ilustra de forma fehaciente su destacada seguridad frente al crecimiento tanto lento como rápido de grieta en comparación incluso con los mejores materiales PE 100-RC conocidos. Al mismo tiempo, estos valores de medición confirman nuevamente la alta calidad de los sistemas de tubo de PE-Xa de gran pureza en cuanto a resistencia a las cargas puntuales y a la fatiga térmica.

Aparte de estos resultados convincentes, obtenidos en los ensayos del material, muchos usuarios aprecian la gran flexibilidad de las sondas geotérmicas PE-Xa, resultado de la reducida cristalinidad de la clase PE-Xa. Mientras que los tubos de PE 100-RC superan mayormente en rigidez a los sistemas de

tubo de PE-100, y, por ello, requieren grandes fuerzas para el desbobinado del tubo en bobina, su introducción en el pozo o la realización de empalmes soldados, especialmente cuando se opera a bajas temperaturas ambiente, los sistemas de tubo PE-Xa satisfacen a los usuarios por su fácil y flexible manipulado en la obra y por los radios menores de curvatura que alcanzan.

Sólo esta elevada flexibilidad del material PE-Xa permite curvar a partir del mismo sin soldaduras en la punta, que es la zona más expuesta a nivel de esfuerzos de una sonda geotérmica vertical, y confeccionar allí, en el punto de mayor presión hidrostática, una sonda continua, hidráulicamente óptima, sin ningún tipo de costura de soldadura (**fig. 6**).

Debido a la reticulación de las cadenas de moléculas, las buenas propiedades de resistencia a la presión de los sistemas de tubos PE-Xa se mantienen incluso a elevadas temperaturas. Esto permite inyectar el calor sobrante obtenido en verano con una instalación solar térmica directamente en la sonda de profundidad, con una temperatura en la impulsión de hasta 95°C, para la regeneración del subsuelo. Las sondas de PE-Xa son aptas asimismo para usos como acumulador geotérmico estacional de sonda, unas aplicaciones prometedoras, caracterizadas por su eficiencia energética.

Es por esta razón que las sondas de profundidad en PE-Xa reticulado, de funcionamiento acreditado desde hace años, seguirán consolidando su firme posición en el segmento de gama alta de este tipo de sondas geotérmicas, a pesar del perfeccionamiento

de las calidades de tubo de PE 100-RC.

En el esquema de la **figura 7** se ofrece la clasificación de una selección de sondas geotérmicas actualmente ofrecidas en el mercado.

### Nuevas aplicaciones geotérmicas

Gracias a su efecto de memoria, el material reticulado de altas prestaciones PE-Xa hace posibles también nuevas formas constructivas de las sondas geotérmicas verticales. Si se coloca el tubo extrusionado de material reticulado dentro de una espiral helicoidal durante el enfriamiento, el tubo conserva esta forma incluso después del mismo.

Esto permite realizar una sonda geotérmica vertical de perfil helicoidal, que encaja dentro de los pozos realizados con la maquinaria de perforación habitual, de aprox. 3-5 m de profundidad y aprox. 400 mm de diámetro. Este tipo de sondas geotérmicas, que mayormente no requieren permisos, alcanzan potencias de captación de aprox. 300-800 W/unidad, en función del subsuelo y de las aguas freáticas.

Una vez colocada la sonda helicoidal se rellena el pozo con arena de cuarzo y agua o con un material aislante fluyente y autocompactante y se interconectan hidráulicamente en grupos el número de sondas helicoidales requeridas. Las conocidas ventajas del material PE-Xa se conservan intactas, es decir, que también las sondas helicoidales fabricadas a partir del material PE-Xa son resistentes a largo plazo a las cargas puntuales y pueden exponerse a temperaturas de hasta 95°C, para la rege-



**Fig. 10** Equipo de sondeo para la instalación de sondas geotérmicas verticales helicoidales

neración solar del subsuelo (**fig. 8-11**).

### Conclusiones

Para las aplicaciones geotérmicas más sencillas (sólo calefacción, sin regeneración solar del subsuelo durante el verano) se pueden seguir empleando sondas geotérmicas de PE 100 para profundidades de sondeo reducidas, siempre que se garantice



**Fig. 11** Instalación rápida y sencilla de una helicoidal de PE-Xa

un rellenado correcto, aunque su resistencia a largo plazo no puede asegurarse, debido a las cargas puntuales que posiblemente podrán actuar durante el servicio y a los daños ocasionados previamente, durante la fase de colocación, en forma de estrías y muescas.

Las sondas geotérmicas fabricadas con un 100% de PE 100-RC, de propiedades confirmadas mediante PAS 1075, representan una ligera mejora con respecto a las sondas convencionales de PE 100, debido a su resistencia a las cargas puntuales algo superior. Los estudios de laboratorio muestran que únicamente las sondas geotérmicas de PE-Xa permiten obtener una solución duradera frente al problema de las cargas puntuales, sobradamente conocido en el sector.

La limitación de las temperaturas en la impulsión a máx. 40°C, asimismo relevante tanto en la práctica como para las aplicaciones futuras, se mantiene invariable con el PE 100-RC. En consecuencia, la rege-

neración solar del subsuelo, de importancia creciente para alcanzar una eficiencia energética óptima de la instalación en su conjunto, no es posible con las sondas de PE 100-RC, lo cual menoscaba mucho su viabilidad y significancia futura en el mercado.

La clase *premium* de entre todas las aplicaciones poliméricas para sonda geotérmica conocidas la siguen constituyendo los sistemas de sonda geotérmica sin costuras de soldadura en PE-Xa según DIN 16892/DIN 16893, acreditados desde hace decenios. Su alta calidad no sólo viene avalada por años de aplicación práctica, sino también por los más modernos métodos de análisis en el laboratorio de ensayos. Gracias a esto, las sondas geotérmicas verticales cercanas a la superficie en PE-Xa de alta calidad se emplean también cada vez más en nuevas formas constructivas, p.ej. como sondas helicoidales enterradas.

*Figuras:*

### Autores:

Dipl.-Ing. Guido Kania  
Dipl.-Ing. (FH) Daniel Gottschalk  
REHAU AG+Co  
Ytterbium 4  
91058 Erlangen (Alemania)  
Internet: [www.rehau.com](http://www.rehau.com)