

**Caso real: Urbanización Citasol-Almuñecar, Granada**

# Inyecciones de resina expansiva *Geoplus* en el terreno

Hoy en día, la consolidación del suelo mediante inyecciones de resina expansiva es una tecnología que se apoya sobre unas bases científicas muy sólidas. Este artículo pretende ser una herramienta para profundizar en los conocimientos acerca del tema y entender cuáles son las características fundamentales para obtener un buen resultado de una intervención de mejora del terreno mediante inyección de resinas expansivas. El documento, basado en el estudio de un caso real, quiere ilustrar la manera de ejecución de las inyecciones de resina de elevada presión expansiva así como sus efectos en el suelo tratado.

A partir del estudio geotécnico contratado por la propiedad, suscitado por las lesiones existentes en la vivienda, pavimento, solea, muros y otros elementos, se pudieron extraer una serie de conclusiones que a continuación se resumen:

- Según información facilitada por el personal de mantenimiento de la finca, las lesiones aparecieron a partir del invierno de 2009 y en paralelo a las obras de la urbanización colindante.
- La vivienda carece de cimentación y/o estructura de hormigón. Está formada por muros de carga.
- Las patologías que presenta la finca son las siguientes:
  - Grietas en el muro de mampostería que contiene las tierras del vial superior.
  - Hundimientos y grietas en el pavimento.
  - Grietas en la vivienda de invitados.
  - Grietas en la fachada norte de la vivienda principal (entrada).
  - Grietas en la fachada Sur (jardín y piscina).

La piscina presentaba una grieta en dirección transversal que ha sido reparada.

En el exterior de la finca que nos ocupa se describen grietas y hundimiento del vial que linda al norte con la propiedad. Se observan fisuras, grietas y desplazamientos en las viviendas de reciente construcción, ligadas a la vía comentada y situada a una cota superior. Este tipo de desordenes se repiten en otros puntos de la urbanización.

La vivienda fue construida hace más de 30 años.

## Niveles geotécnicos

- **Nivel I. Relleno y/o esquistos muy alterados (S1 0,00-2,40 metros).**

Una vez se atraviesa la capa de hormigón correspondiente al pavimento, 0,15 m en el punto de sondeo, se ha identificado un primer

**Palabras clave:** COMPACTACIÓN, CONSOLIDACIÓN, GRIETA, HUNDIMIENTO, INYECCIÓN, PATOLOGÍA, RESINA EXPANSIVA, TERRENO, ZAPATA.

 **Dpto. Técnico de,  
URETEK, S.L.**

nivel geotécnico constituido por el material de relleno vertido para crear la plataforma y una franja más superficial de esquistos muy alterados (GM VI). Este nivel geotécnico I se prolonga, según el corte estratigráfico del sondeo, hasta unos 2,40 metros.

Las diagráfias resultantes de los ensayos de penetración dinámica continua *DPSH* 1, 2 y 3, describen un primer tramo con valores de golpes muy bajos ( $N_{20} = 5-10$ ).

Este primer intervalo de golpes se prolonga hasta una profundidad variable entre 3,40 m en el ensayo *P1* y 4,20 m en el ensayo *P3*. El ensayo *P2* describe una potencia de 3,80 metros.

- **Nivel II. Esquitos alterados (S1 2,40 a 15,00 metros).**

En este segundo nivel geotécnico se han englobado una serie de esquistos grises alte-

rados. Se caracterizan por un grado de meteorización que varía entre III y V, la franja más superficial.

- **Nivel III. Esquistos menos alterados (S1 a partir de 15 metros y prolongándose por debajo de 18 metros).**

En tercer lugar y a partir de 15 metros, los ensayos muestran un estado menos alterado de los esquistos existentes. Este *NG III* está formado por unos esquistos grises con un grado de alteración III.

## Solución propuesta

Como alternativa a soluciones tradicionales, se plantea una tecnología cuyas características son la poca invasividad y rapidez de ejecución: **Uretek Deep Injections®** con inyecciones de resina expansiva **Uretek Geoplus®**.

La intervención se ejecuta en dos fases:

- **1ª Fase – Compactación superficial:** inyecciones a cota de apoyo de cimentación para mejorar las características geomecánicas del terreno y rellenar los huecos presentes entre cimentación y suelo.

- **2ª Fase – Consolidación en profundidad:** inyecciones ejecutadas en distintos niveles de profundidad en el volumen de suelo afectado por las cargas.

El resultado de la intervención se verifica a través de monitorización láser durante las inyecciones, así como un control, mediante medidores volumétricos y manómetros, de la cantidad de resina inyectada y su presión de inyección.

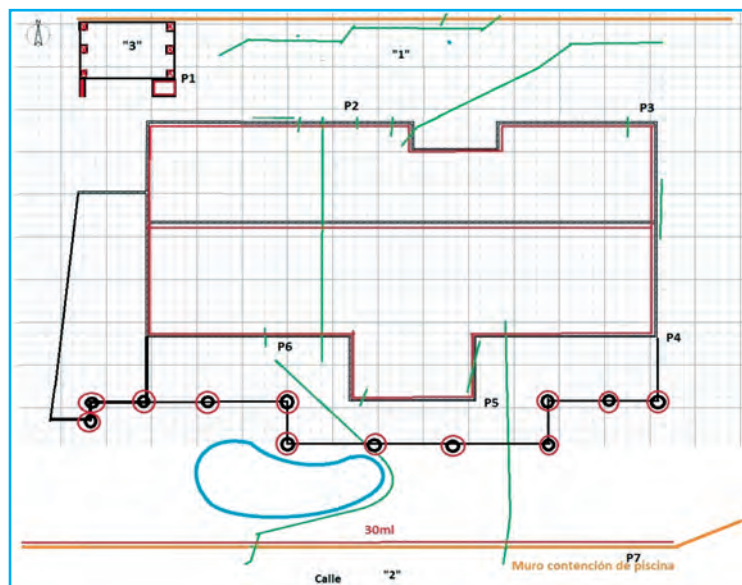
## Actuación

La intervención de *recompresión y consolidación* efectuada en la Casa Joya de San Miguel 9, Urb. Citasol, Almuñecar (18690 Granada), ha tenido como objetivo la ejecución de inyecciones de resina en el suelo de cimentación subyacente de los siguientes elementos (**Fig. 1**):

- 96 ml de zapata corrida en vivienda principal.



■ Grietas aparecidas en fachada e interior de la vivienda



■ [Figura 1] .- Plano de la zona de intervención.

- 12 uds. de zapatas aisladas de pilares de porche en vivienda principal.
- 6 uds. de zapatas aisladas de pilares en vivienda anexa, y los 2 apoyos de la escalera exterior de dicha vivienda.
- 30 ml de zapata corrida en muro de contención de vivienda.

La tecnología aplicada –protegida por la Patente Europea nº 0851064 de propiedad de la empresa *Uretek Srl*–, ha permitido la densificación en las profundidades del terreno a través de la inyección en el terreno mismo de resinas de poliuretano con alta presión de expansión, que, expandiéndose han transmitido al volumen sólido a su alrededor una acción de compactación que origina un aumento de la capacidad de carga.

Las inyecciones con el fin de cubrir la totalidad del volumen de suelo a tratar, se realizaron mediante la colocación de conductos de inyección en diferentes planos de profundidad, llamado en adelante *niveles*.

## Perforaciones

La ejecución de los agujeros de inyección se ha realizado por medio de taladros manuales eléctricos con energía de rotación impacto percusivo igual de hasta 12-14 Joule, y la frecuencia de 1200-2800 golpes por minuto.

Las perforaciones (**Fig. 2**), con un diámetro de 26 mm, realizadas a través de la estructura de la cimentación y a lo largo de una longitud máxima de 2,0 m bajo el espesor de la misma cimentación, se han efectuado a 90 cm de distancia entre sí en los elementos sobre zapata corrida, y junto a una de las caras del pilar en las zapatas aisladas.

De esta manera ha sido posible alcanzar de manera precisa todo el volumen llamado *significativo*.

La cota de cimentación ha sido detectada a una profundidad media de 1,5 m en la fachada principal de la vivienda, muro interior y esquinas de la misma, siendo de 30 cm en la fachada del porche y laterales. La profundidad de cimentación en la vivienda anexa es de 1m, y en el muro de contención de la piscina variable entre 0,5 y 1,5 m.

Los niveles se han realizado a la cota de 0,10 m; 1,10 m y 2,10 m desde la cota inferior de la cimentación para consolidar todos los elementos mencionados.

Al término de la perforación, se han puesto en obra tubos de acero para la inyección colocados en los agujeros hechos mediante percusión.

## Inyección

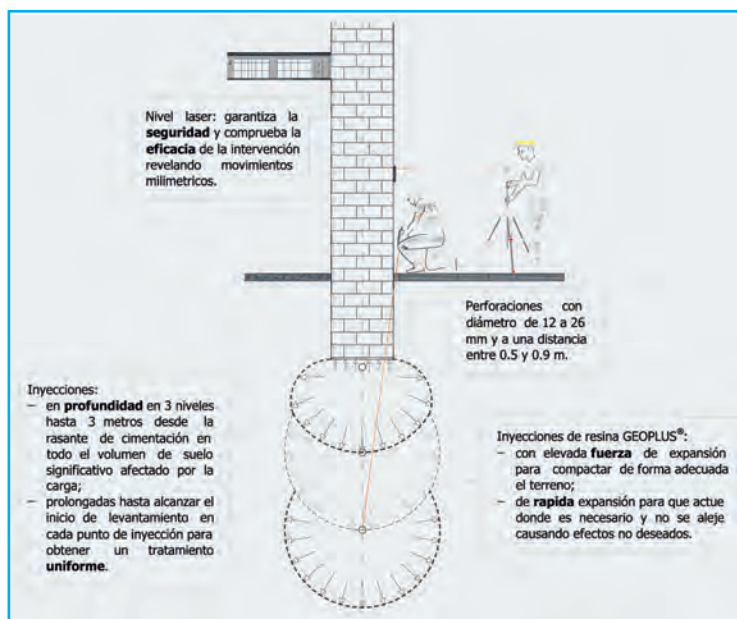
La inyección (**Figs. 3, 4 y 5**) se realizó con una pistola que, colocándose en la extremidad superior del tubo, ha inyectado en el conducto enterrado la resina previamente mezclada en una cámara especial de pre-mezcla. La presión de inyección ha sido suministrada por una bomba colocada en el camión taller.

Durante los trabajos la estructura ha sido controlada utilizando equipos de precisión láser, lo que permitió detectar constantemente el movimiento vertical de la estructura y de la solera.

La interrupción de la inyección de resina se ha determinado mediante la detección del levantamiento de la estructura o del alcance del límite de la presión de la bomba que introduce



■ [Figura 2] .- Fase de perforación e introducción de tubos



■ [Fig. 3] .- Esquema representativo de la fase de inyección de la resina.

la resina en el circuito primario, lo que indica el alto grado de densificación alcanzado por el agregado resina/tierra.

Las inyecciones se han realizado previamente en las capas más superficiales y sucesivamente en las más profundas

## Monitorización de la intervención

### Nivelación

Durante la inyección de resina, con el fin de hacer una constatación del comportamiento de la estructura con respecto a los desplazamientos verticales, se ha echo uso de equipos láser con una precisión de +/- 0,5 mm (**Fig. 6**). Los receptores, colocados en soportes especiales firmemente conectados a las paredes verticales, se han utilizado con el transmisor láser montado en un trípode a una distancia segura del lugar de trabajo.

El levantamiento vertical de la estructura es una indicación de la efectividad del tratamiento, ya que el mismo sólo puede tener lugar después de que la expansión generada por el proceso de hinchamiento de la resina ha producido la densificación de todo el terreno que





[Fig. 4] .- Zonas de intervención.



[Fig. 5] .- Inyección



[Figura 7] .- Ejecución de un ensayo penetrométrico.

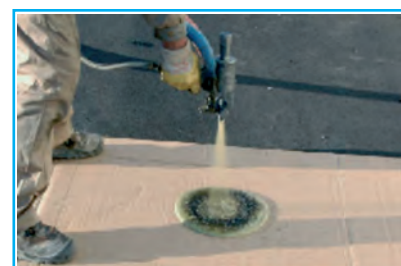
El análisis de cada uno de los ensayos, unida a las investigaciones *in situ*, permite identificar las tensiones totales en el suelo durante el tratamiento de inyección.

## • Tiempo de reacción

El tiempo de reacción de polimerización de la resina es muy rápido (del orden de segundos), lo que permite al material quedar confinado en el entorno más próximo al punto de inyección, sin fluir la resina demasiado lejos (ver Fig. 9).

## • Módulo elástico

El modulo elástico de la resina expandida varía desde 10 MPa hasta 80 MPa de-



[Fig. 9] .- Secuencia de reacción de la resina.

se encuentra alrededor de las inyecciones en direcciones distintas respecto a la vertical, donde el estado de tensión es menor.

Durante las inyecciones se produjo un levantamiento medio de la estructura de 0,5 mm. en cada inyección.

## Ensayos penetrométricos

El éxito positivo de la intervención ha sido controlado a través de catorce (14) Ensayos de Penetración Dinámica comparativos, siete (7) antes de la inyección y siete (7) después de la inyección, que han permitido apreciar el incremento de los parámetros mecánicos en los volúmenes de terreno tratados mediante las inyecciones (Fig. 7).

Los valores obtenidos en los ensayos se muestran en el Anexo I.

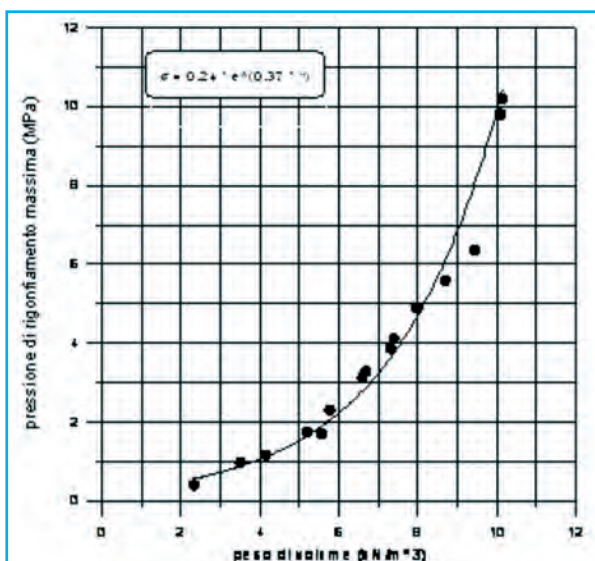
## Inyecciones

### Características de la resina Uretek Geoplus

La resina expansiva utilizada para la consolidación del suelo, testada en los laboratorios de la Universidad de Padua, posee algunas características particulares determinantes para el éxito de la intervención. A continuación se describen las más representativas e interesantes para el trabajo en objeto:

#### • Presión de hinchamiento

La máxima presión de hinchamiento de la resina, obtenida en condiciones edométricas es de 10,2 MPa. La evolución de las presiones de hinchamiento al variar del grado de confinamiento está reproducido en el gráfico de la Fig. 8.



pendiendo del peso de volumen alcanzado a reacción terminada (Fig. 10).

Esta característica permite al terreno tratado mantener una rigidez global similar a la del terreno natural, evitando redistribuciones anómalas de las tensiones.

#### • Compatibilidad ambiental

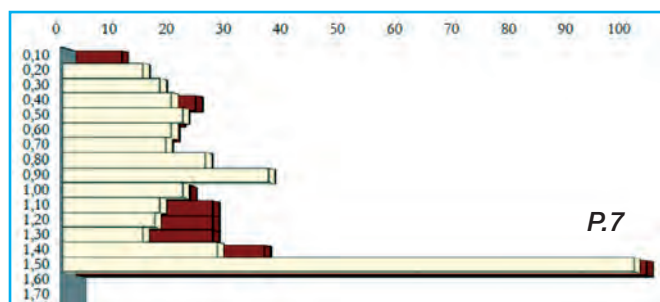
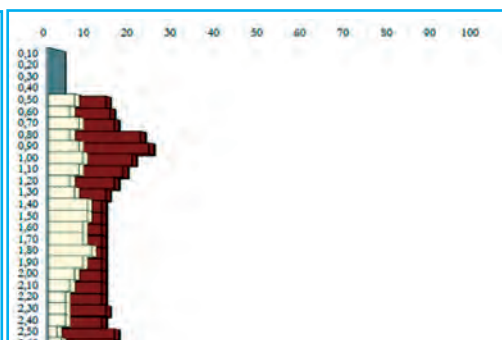
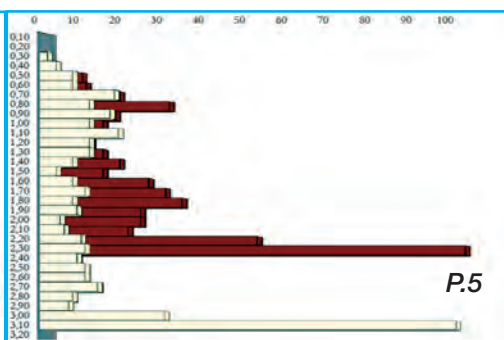
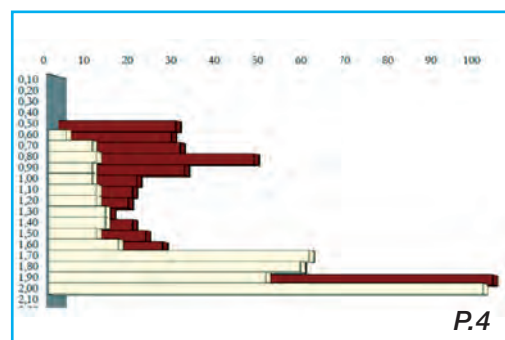
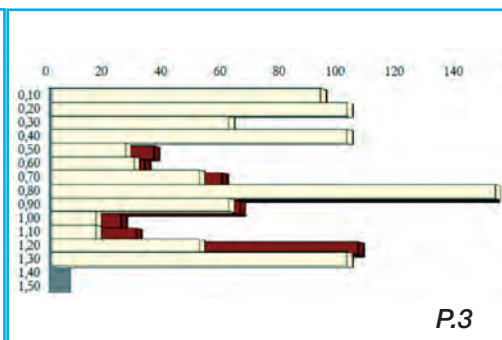
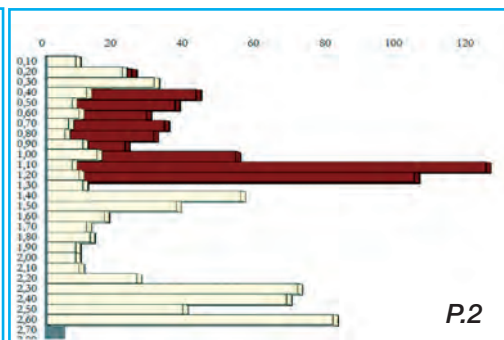
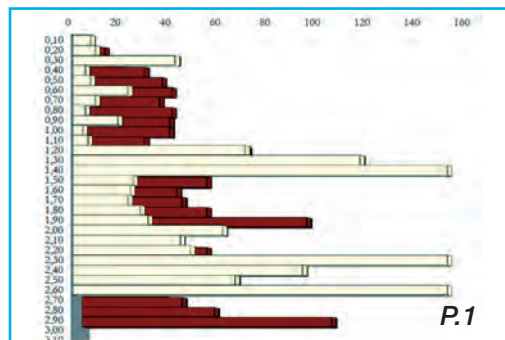
La resina expansiva **Uretek Geoplus** tiene una certificación de compatibilidad ambiental cumpliendo con las normativa en vigor en materia de contaminación.

[Figura 8] .- Curso de las presiones de hinchamiento en función de grado de confinamiento.

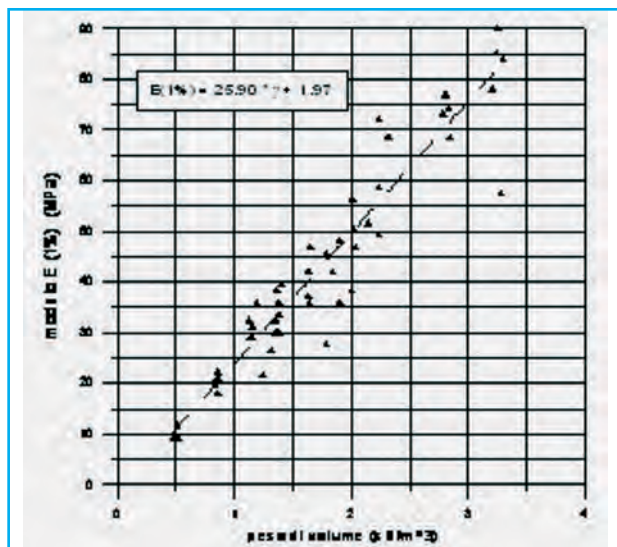


[Fig.6] .- Control láser

# Consolidación



**ANEXO I.**  
Valores de los ensayos  
penetrométricos realizados  
antes y después de las  
inyecciones.



## Conclusiones

La intervención de recompresión y consolidación efectuada en la Casa Joya de San Miguel 9, Urbanización Citasol, Almuñecar, (18690 Granada) , ha tenido como objetivo la ejecución de inyecciones de resina en el suelo de cimentación subyacente de los siguientes elementos:

- 96 ml de zapata corrida en vivienda principal.
- 12 uds. de zapatas aisladas de pilares de porche en vivienda principal
- 6 uds. de zapatas aisladas de pilares en vivienda anexa, y los 2 apoyos de la escalera exterior de dicha vivienda

– 30 ml de zapata corrida en muro de contención de vivienda

La eficacia del tratamiento ha sido demostrada en primer lugar por el levantamiento vertical de la estructura, puesto que en una intervención esto puede ocurrir exclusivamente después de que la expansión generada por el proceso de hinchamiento de la resina ha producido la densificación de todo el terreno circundante, y en segundo lugar por la realización de ensayos penetrométricos antes y después de la intervención.

[Figura 10] .-  
Campo de variación del  
modulo elastico.

**URETEK**  
Soluciones Innovadoras, S.L.U.  
Príncipe de Vergara, 126  
28002 Madrid  
☎: 900 80 90 33  
E-mail: [uretek@uretek.es](mailto:uretek@uretek.es)  
Web: [www.uretek.es](http://www.uretek.es)