

**CONVENIO ENTRE LA FUNDACIÓN GENERAL  
DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
Y  
URETEK, SOLUCIONES INNOVADORAS, SLU**



**INVESTIGACIÓN DEL MÉTODO DE INYECCIÓN DE  
RESINA DE POLIURETANO EXPANDIDO EN  
DIFERENTES TIPOS DE SUELOS**

**INFORME I**

**ESTADO DEL ARTE DE LAS INYECCIONES DE RESINA  
DE POLIURETANO EXPANDIDO GEOPLUS®**

**Nº Expediente: 43822837010**

**Documento: RPEG 7010/1/15**

**Fecha: 16/03/2015**

**Validez: 2015**

**Madrid, 16 de marzo de 2015**

## INFORME I

### ESTADO DEL ARTE DE LAS INYECCIONES DE RESINA DE POLIURETANO EXPANDIDO GEOPLUS®

#### INDICE

<b>1. Introducción y alcance.....</b>	<b>4</b>
1.1. Plan de trabajo .....	5
1.1.1. Revisión y análisis de la documentación existente .....	6
1.1.2. Inspección y estudio de actuaciones reales sobre recalces de estructuras .....	6
1.1.3. Informe y difusión de los trabajos de investigación .....	6
1.2. Entregables.....	6
1.3. Equipo de trabajo.....	7
<b>2. Conceptos básicos sobre la resina Geoplus®.....</b>	<b>8</b>
<b>3. Fundamentos de la inyección profunda en el terreno de la resina Geoplus® .....</b>	<b>11</b>
3.1. Tecnología Uretek Deep Injections® .....	11
3.1.1. Procedimiento de inyección de la resina.....	12
<b>4. Comportamiento de la resina Geoplus® .....</b>	<b>17</b>
4.1. Propiedades mecánicas.....	17
4.1.1. Resistencia a compresión no confinada.....	17
4.1.2. Expansividad bajo condiciones edométricas .....	20
4.1.3. Resistencia a la tracción monoaxial.....	22
4.1.4. Deformación.....	22
4.1.5. Módulo de elasticidad.....	22
4.1.6. Permeabilidad .....	23
4.2. Propiedades químicas .....	23
4.2.1. Toxicidad.....	24
4.2.2. Resistencia a hongos y bacterias .....	24
4.2.3. Resistencia a la agresión química .....	24
4.2.4. Compatibilidad medioambiental.....	26
4.2.5. La gestión de la contaminación del suelo en España.....	31
4.2.5.1. La contaminación del suelo en la Comunidad de Madrid .....	31
4.3. Durabilidad.....	33
4.4. Comportamiento frente a ciclos de humedad / sequedad.....	34
4.5. Resumen de las propiedades de la resina Geoplus® .....	35
<b>5. Comportamiento de los diferentes tipos de terreno frente a la inyección de la resina Geoplus® .....</b>	<b>36</b>
5.1. Comportamiento en suelos granulares.....	37
5.2. Comportamiento en suelos cohesivos .....	39
5.3. Interacción suelo-resina.....	40
5.3.1. Interacción suelo granular-resina.....	41
5.3.2. Interacción suelo cohesivo-resina.....	43
5.3.2.1. Reducción de la permeabilidad.....	45
<b>6. Diseño y dimensionamiento de la inyección profunda en el terreno de la resina Geoplus® .....</b>	<b>47</b>
6.1. Diseño de la inyección.....	47

6.2. Dimensionamiento de la inyección.....	48
6.2.1. Estudios previos.....	49
6.2.2. Replanteo de la inyección .....	50
6.2.3. Ejecución de la inyección.....	52
<b>7. Instrumentación y control de la inyección profunda en el terreno de la resina</b>	
<b>Geoplus® .....</b>	<b>55</b>
7.1. Instrucción y control de la inyección .....	55
7.1.1. Control del terreno a inyectar.....	56
7.1.2. Periodo de observación.....	57
7.2. Control de productos y equipos de inyección.....	57
7.2.1. Control de productos .....	57
7.2.2. Control de equipos de inyección .....	58
<b>8. Actuaciones con la tecnología de inyección profunda en el terreno de la resina</b>	
<b>Geoplus® .....</b>	<b>59</b>
8.1. Aspectos técnicos considerados en cada actuación.....	59
8.2. Actuaciones en edificios históricos singulares .....	60
8.2.1. Iglesia de San Bartolomé y san Gaudencio. Borgolavezzaro (Italia).....	61
8.2.2. Palacio Punta della Dogana. Venecia (Italia).....	65
8.2.3. Palacio en calle Joseph De Maistre. Montmartre, Paris (Francia).....	68
8.2.4. Torre medieval Città di Castello. (Italia).....	71
8.2.5. Colegio Cardenal Espinosa. Martín Muñoz de las Posadas, Segovia (España) ....	73
8.2.6. Edificio en calle Sánchez Vera. Cuenca (España) .....	76
8.2.7. Capilla Saint Nicodeme. Bretaña (Francia).....	79
8.2.8. Bodegas La Tribuna y El Molino, Bea Global. Jerez de la Frontera (España) .....	81
8.3. Actuaciones en obras diversas.....	84
8.3.1. Iglesia de Rojales. Alicante (España).....	84
8.3.2. Refugio Europa. Val di Vizze (Italia) .....	86
8.3.3. Edificación y vial afectados por un karst. Alcalá de Ebro, Zaragoza (España)....	88
8.3.4. Basílica de San Cosme e Damiano. Via dei Fori Imperiali, Roma (Italia).....	91
8.3.5. Consolidación del apoyo de un gaseoducto. Valdespartera, Zaragoza (España).....	93
<b>9. Propiedad industrial. Patentes, marcas registradas y modelos de utilidad.....</b>	<b>95</b>
9.1. Patentes Uretek.....	95
9.2. Marcas Registradas Uretek.....	97
9.3. Modelos de utilidad Uretek.....	102
<b>10. Resumen y Conclusiones .....</b>	<b>103</b>
<b>11. Bibliografía .....</b>	<b>105</b>
<b>ANEJOS</b>	
<b>Anejo I. Resina Geoplus®.....</b>	<b>112</b>
- Geoplus A .....	113
- Geoplus B .....	129
<b>NOTA.....</b>	<b>141</b>

## 1. INTRODUCCIÓN Y ALCANCE.

El **GRUPO URETEK** nace en Italia en 1990 y está presente en más de 60 países. Desde su fundación se ha caracterizado por una intensa actividad de investigación mediante colaboraciones con importantes Universidades e Institutos Tecnológicos Europeos. Esta actividad ha permitido un constante desarrollo de su tecnología, Figura 1.



**Figura 1.** Presencia del Grupo Uretek en Europa

Siendo fiel a este compromiso de investigación, una de las empresas del grupo, **Uretek, Soluciones Innovadoras SLU**, dentro de su plan de Investigación, Desarrollo e Innovación, a través de convocatoria internacional competitiva entre diversas universidades europeas, pretende llevar a cabo un proyecto de I+D+i titulado “*Evaluación del método de inyección de resina de poliuretano expandente en diferentes tipos de suelos*”.

Para esta convocatoria, en marzo de 2014, un grupo de profesores del Departamento de Ingeniería Civil: Construcción, Infraestructura y Transportes, perteneciente a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica de Madrid, propuso una línea de investigación que, fue seleccionada entre todas las propuestas de investigación presentadas.

Finalmente en septiembre de 2014 se firma el Convenio de Investigación entre la Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid (en adelante FGUPM), y la empresa Uretek Soluciones Innovadoras SLU (en adelante Uretek).

El presente documento, constituye una de las partes integrantes de investigación y desarrollo, que se está llevando a cabo, en el marco del Convenio entre la Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid, y la Empresa Uretek, Soluciones Innovadoras SLU.

El objetivo de este primer informe es el de realizar, con la máxima objetividad, un “*Estado del Arte*” que valore del sistema de inyección de referencia, realizando una investigación que pueda ser considerada como concluyente en base a:

- Revisión y análisis de la documentación general existente.
- Estudio de los conceptos básicos de la inyección de resina de poliuretano expandido.
- Fundamentos del procedimiento de inyección de resina de poliuretano expandido.
- Comportamiento de la inyección de resina de poliuretano expandido.
- Tipos de suelos como receptores de la inyección de resina de poliuretano expandido.
- Comportamiento de la inyección de resina de poliuretano expandido.
- Comportamiento de los diferentes tipos de suelos frente a la inyección de resina de poliuretano expandido.
- Interacción suelo-inyección.
- Diseño y dimensionamiento de la inyección de resina de poliuretano expandido.
- Inyecciones de resina en Europa y resto del mundo.
- Análisis y estudio de los tratamientos del terreno realizados mediante esta técnica de inyección, en los casos seleccionados (documentados por Uretek)
- Selección de una muestra significativa de trabajos posibles a estudiar realizados en España por la empresa Uretek.
- Inspección in situ, de un número de trabajos significativos a realizar por la empresa, para contrastar los datos existentes y los análisis realizados sobre los parámetros de diseño y ejecución del sistema.
- Instrumentación y control de la inyección.
- Propiedad Industrial, patentes y marcas.
- Bibliografía.
- Difusión del conocimiento mediante artículos, charlas, etc.

### 1.1. Plan de trabajo.

El propósito general de la investigación será el de verificar, si procede, el efecto positivo de la inyección de la **resina de poliuretano expandido**, denominada **Geoplus®**, como marca registrada por Uretek, en la capacidad de carga de diversos tipos de suelos naturales (de comportamiento geotécnico cohesivo y granular) y antrópicos, utilizando:

- La documentación existente.
- Datos reales obtenidos por el análisis directo de las actuaciones sobre recalces de estructuras.

La combinación de los dos pasos anteriores determinará el posible efecto positivo de la inyección de **resina de poliuretano expandido Geoplus®**, en el comportamiento geomecánico y la capacidad de carga de los tipos de suelos naturales y antrópicos, objeto de esta investigación.

En función de estas premisas se enumeran en los siguientes epígrafes, el trabajo a desarrollar:

#### 1.1.1. Revisión y análisis de la documentación existente.

Como paso preliminar, se ha realizado una detallada revisión y análisis de la documentación aportada, prestando especial interés en todos aquellos documentos procedentes de la investigación de organismos y centros universitarios extranjeros (Francia, Italia, Austria, etc.).

Con este proceder se obtendrá: tanto el alcance y grado de detalle de la documentación, como verificar las fortalezas y carencias de la misma.

Se prestará especial interés a:

- a) Los criterios de diseño que sirven de base para elaborar las propuestas de tratamiento, realizadas con el sistema de inyección de referencia.
- b) Cumplimientos normativos europeos y nacionales en el ámbito de la geotecnia.

### **1.1.2. Inspección y estudio de actuaciones reales sobre recalces de estructuras.**

Se ha realizado una inspección *in situ* de un número de trabajos significativos (de acuerdo con la segmentación y los análisis realizados), que ha realizado Uretek, para contrastar los datos estudiados y los análisis realizados sobre:

- a) Los parámetros de diseño del sistema.
- b) Los parámetros de ejecución del sistema.

En estas actuaciones puntuales o de importancia, parte del equipo de investigación ha acompañado a los técnicos de Uretek.

Durante estas inspecciones el equipo investigador ha tomado notas y ha analizado cada una de las partes de la metodología de actuación de Uretek: testando, verificando y cuantificando cada una de las fases del proceso.

### **1.1.3. Informe y difusión de los trabajos de investigación.**

Finalmente se emitirá un informe sobre los trabajos realizados incluyendo las conclusiones y recomendaciones a que haya lugar en base a lo indicado anteriormente.

Este Protocolo de Actuación, resultado de la investigación realizada, incluirá: tanto la descripción del sistema de intervención, como las características de la resina empleada. Así mismo deberá indicar que suelos son susceptibles de ser tratados mediante esta tecnología y los resultados mínimos de mejora esperados.

El resultado de dicho informe, así como trabajos parciales que puedan irse concluyendo al albor de la investigación realizada, se difundirán entre la comunidad científica y técnica o en los foros que de común acuerdo con la empresa se estimen, mediante la realización de artículos, charlas, etc.

## **1.2. Entregables.**

Los entregables son materiales verificables en forma de documentos técnico-científicos que muestren el trabajo realizado con el análisis de los resultados parciales y totales de la investigación. Tomarán forma de informes, artículos técnico-científicos en revistas indexadas, conferencias y seminarios.

Al ser hitos de investigación verificables, permitirán realizar el control de ejecución de la investigación.

### 1.3. Equipo de trabajo.

Los componentes que integran el equipo de investigación son profesionales con demostrada experiencia en geología y geotecnia, con capacidad de trabajar en equipo, con conocimientos complementarios en otras disciplinas y con un fuerte espíritu de compromiso.

El equipo está constituido por los siguientes investigadores:

Félix Escolano Sánchez (Director y Coordinador del Proyecto)

Ramón Sánchez Lavín

Alberto Mazariegos de la Serna

del Departamento de Ingeniería Civil: Construcción, Infraestructuras y Transporte, de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica de Madrid.

## 2. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE LA RESINA GEOPLUS®

El grupo **Uretek** ha desarrollado una tecnología innovadora para la consolidación de suelos a través de la inyección en el terreno, **Uretek Deep Injections®**, de resina de poliuretano expandido **Geoplus®**, que viene aplicando con éxito desde hace más de 15 años.

Se trata de un sistema de inyección profunda en el terreno de una resina de poliuretano expandido especial de última generación, **Geoplus®**, marca registrada por Uretek, que se obtiene a partir de una mezcla de dos componentes, esencialmente polioles e isocianatos, denominados comercialmente como **Geoplus® A** y **Geoplus® B**. En el Anejo 1 se recogen las fichas técnicas y de seguridad de estos dos componentes.

Las resinas de poliuretano expandido se producen por la reacción exotérmica entre un polioliol y un isocianato, mezclados en proporciones volumétricas establecidas, de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

La reacción química para la síntesis de poliuretanos fue descubierta por Bayer en 1947.

Durante la reacción química se genera una gran cantidad de dióxido de carbono, lo que provoca la expansión volumétrica de la mezcla y la formación de una estructura esponjosa, en la que están atrapadas las burbujas de gas. Para la producción de dióxido de carbono se requiere la presencia de agua, que reacciona con el grupo isocianato; en ausencia de agua, se hace uso de un líquido agente de hinchamiento, químicamente inerte y con una temperatura de ebullición baja, que se vaporiza consumiendo parte del calor de polimerización.

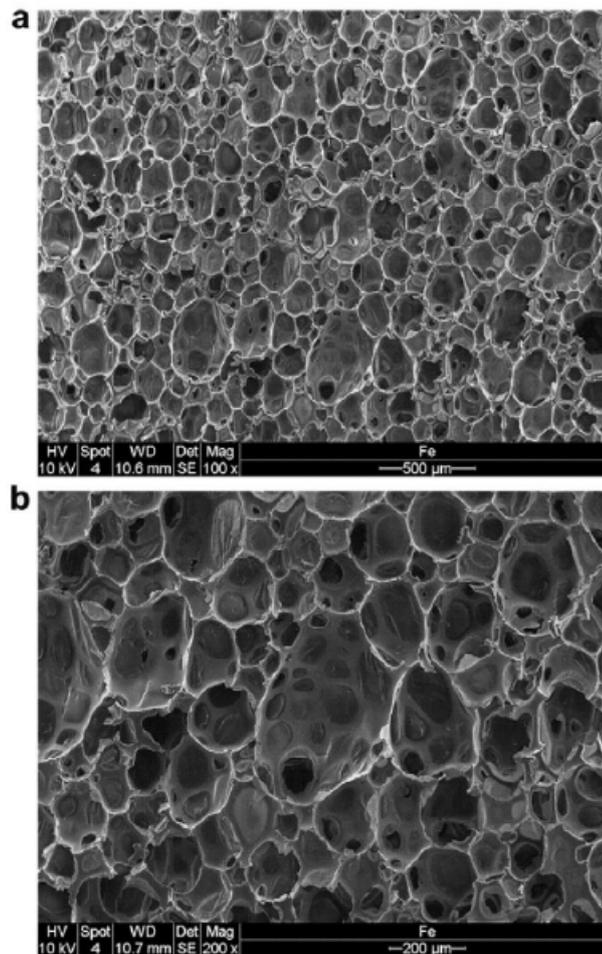
En un período de tiempo muy limitado (varios segundos a varios minutos), la mezcla se endurece, pasando de líquido a sólido. El tiempo de reacción, que depende de la resina particular y el uso de catalizadores, entre otras cosas, está influenciado por la temperatura de los componentes mezclados.

Controlando la temperatura de los componentes es, por lo tanto, posible acelerar o retardar el tiempo de reacción.

La presión ejercida durante el hinchamiento y la densidad final de la resina depende de la capacidad expansión que posee el gas contenido en las burbujas, antes del endurecimiento.

La estructura de “célula cerrada” de la resina expandida se muestra en la Figura 2, en la que se recogen las imágenes obtenidas con microscopio electrónico, Buzzi et al. (2008).

Estas imágenes muestran la estructura microscópica de la resina **Geoplus®** utilizada por Uretek (Canteri, 1998), en condiciones de hinchamiento libre, que corresponde a una densidad igual a  $37 \text{ kg/m}^3$ . La densidad de la mezcla en estado líquido es igual a  $1070 \text{ kg/m}^3$ , muy cerca de la del agua,  $1000 \text{ kg/m}^3$ . En tales condiciones, el volumen expandido es igual a 30 veces el volumen original de la mezcla (Dei Svaldi et al, 2005; Buzzi et al, 2008; Buzzi et al, 2010).



**Figura 2.** Imágenes obtenidas, con microscopio electrónico, de la resina de poliuretano expandido Geoplus®, sin confinamiento (densidad igual a  $37 \text{ kg/m}^3$ ).  
(a) Aumento x 100; (b) Aumento x 200. (Buzzi et al, 2008).

Favaretti et al., 2004; Dei Svaldi et al., 2005; Foti e Manassero, 2009, han realizado numerosas pruebas de laboratorio de la resina de poliuretano expandido Geoplus® con el fin de determinar sus principales propiedades físicas y mecánicas. Estas propiedades se describirán en diferentes capítulos de este informe.

La resina expandida y endurecida posee un coeficiente de permeabilidad de  $K=10^{-8} \text{ m/s}$ . Este valor corresponde casi a la permeabilidad de un terreno arcilloso. En los terrenos de estructura no cohesiva la resina reduce la permeabilidad e impide la aparición de fenómenos de erosión mecánica por dispersión y disolución (tubificación).

La resistencia mecánica de la resina expandida y endurecida depende del grado de expansión. Para pesos específicos incluidos entre  $0,5$  y  $3,3 \text{ kN/m}^3$  se han determinado valores de resistencia de  $0,2$  a  $6,0 \text{ MPa}$ .

El módulo de elasticidad de la resina Geoplus® es comparable al de cualquier tipo de suelo donde se realiza una cimentación. Puede variar entre  $10$  y  $80 \text{ MPa}$  según la densidad obtenida tras la polimerización de la resina, Tabla 1.

**Tabla 1.** Módulo de elasticidad en diferentes tipos de suelos

Tipo de suelo	E(MPa)	Geoplus® E(MPa)
Arena	10 a 25	<b>10 a 80</b>
Arena de densidad media	15 a 30	
Arena densa	35 a 55	
Arena y grava	70 a 180	
Arcilla de consistencia media	5 a 10	
Arcilla dura	10 a 25	

En consecuencia con lo expuesto se puede concluir que, después de la inyección de la resina de poliuretano expandido Geoplus®, el volumen de terreno tratado no modifica las características de rigidez y distribución de fuerzas en profundidad bajo la zona tratada. En otros términos, no existe creación de «puntos duros» en el terreno, y el procedimiento Uretek Deep Injections® se puede considerar adecuado para tratamientos parciales o localizados.

La inyección de resina de poliuretano expandido Geoplus® es apta para todo tipo de suelos, tanto granulares como cohesivos y cualquier tipología de cimentación superficial: zapatas aisladas, zapatas corridas y losas de cimentación.

### 3. FUNDAMENTOS DE LA INYECCIÓN PROFUNDA EN EL TERRENO DE LA RESINA GEOPLUS®

En las técnicas tradicionales de inyección se emplea, por lo general, una mezcla de agua y cemento con aditivos, o resinas no expandentes. Los objetivos del diseño de estos tratamientos son controlados por la naturaleza y cantidad de los componentes presentes en la mezcla y la presión de inyección, que determina el área de influencia de la consolidación.

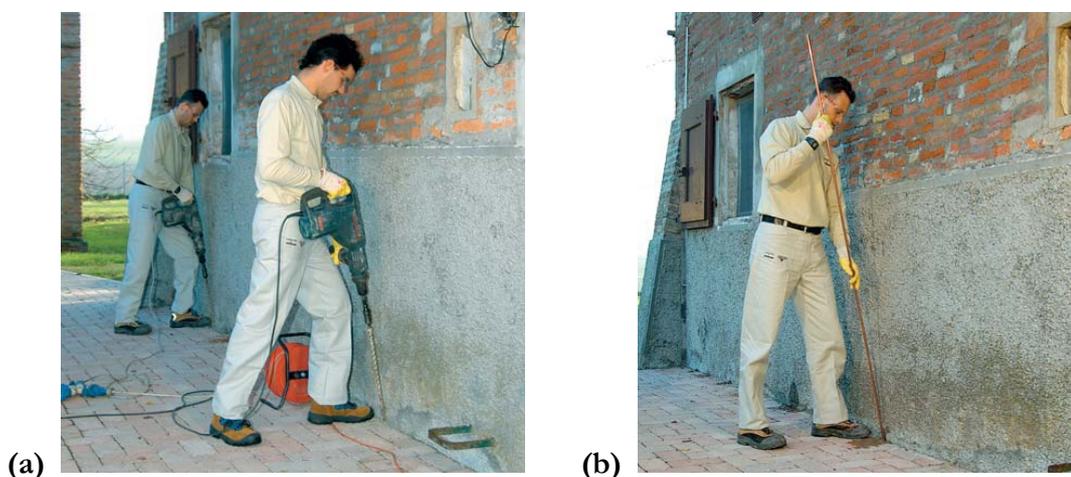
La inyección de resinas de poliuretano tiene un comportamiento diferente, debido a la naturaleza química de sus componentes, los poliuretanos. De hecho, no requieren ninguna presión de inyección y durante la reacción de síntesis se genera una cierta cantidad de dióxido de carbono que causa la expansión volumétrica de la mezcla. La resina solidificada alcanza el equilibrio natural con el terreno circundante, cuando la presión de hinchamiento de la resina, resultante de la reacción, coincide con la presión media del confinamiento del terreno.

La inyección profunda en el terreno de la resina Geoplus®, Uretek Deep Injections®, es la tecnología que permite esta consolidación del terreno.

#### 3.1. Tecnología Uretek Deep Injections®

La tecnología Uretek Deep Injections® permite inyectar en el terreno la resina de poliuretano expandido Geoplus® a diferentes profundidades, a través de perforaciones de pequeño diámetro, causando la mínima alteración a las estructuras y al terreno suprayacente, resolviendo cualquier problema relacionado con la capacidad de carga del terreno bajo cimentación.

Esta tecnología se basa en la realización de perforaciones de diámetro inferior a 30 mm (normalmente entre 12 y 26 mm), separadas entre 50 y 150 cm, figura 3 (a). En estas perforaciones se introducen tubos metálicos, hasta las profundidades establecidas, figura 3 (b), para la posterior inyección en el terreno, a través de estos, de la resina de poliuretano expandido.



**Figura 3.** Fases de ejecución Uretek Deep Injections®.  
(a) Perforación, (b) Introducción de los tubos de inyección.

La inyección la realiza un equipo de técnicos especialistas, que se complementa con un camión taller que contiene todo el material necesario para la intervención. Dependiendo del tipo de intervención y accesibilidad a la obra, el camión taller puede disponerse en varios tamaños y, en casos especiales, se puede llevar el equipo de inyección y la resina con trasportes especiales.

Dentro del camión taller se encuentran, además de otros equipos y sistemas de control, los depósitos de los dos componentes químicos, Geoplus® A y Geoplus® B, necesarios para la formación de la resina.

La inyección es controlada siguiendo el protocolo específico de Uretek. Los dos puntos básicos de este protocolo de inyección son, la cabeza de inyección de la resina, figura 4 (c) y el nivel laser que controla el levantamiento de la estructura, figura (d).



**Figura 4.** Fases de ejecución Uretek Deep Injections®.  
(c) cabeza de inyección de la resina, (d) nivel laser para el control del levantamiento.

### 3.1.1. Procedimiento de inyección de la resina.

Los dos componentes de la resina llegan hasta la “cabeza de inyección” por tuberías independientes. La mezcla de los dos componentes y la inyección de la misma en el terreno tiene lugar, solamente, al accionar el mando que se halla en la empuñadura de “pistola” en la cabeza de inyección, con un tiempo de reacción que van desde unos pocos segundos a unos pocos minutos. No se necesita ningún mecanismo de reglaje de la velocidad del bombeo ya que la expansión en el punto de inyección no tiene lugar por efecto de la presión de inyección sino por la fuerza de expansión de la resina mezclada.

La inyección se realiza a través de los tubos metálicos (acero o cobre), conectados sin válvula a la cabeza de inyección con empuñadura de pistola, colocados en las perforaciones realizadas a distintas profundidades.

Para evitar el rebose de la mezcla de resina, se inyecta una pequeña cantidad antes del comienzo del tratamiento definitivo con el fin de sellar el área circundante al tubo de inyección.

Pasados unos instantes se empieza con el proceso de inyección. Accionando la empuñadura de “pistola” sobre la cabeza de inyección la mezcla de resina se inyecta, a baja presión, a través del tubo metálico hasta el punto de inyección.

La resina se inyecta en el suelo en estado líquido. Casi instantáneamente, se desencadena una reacción química que implica un aumento del volumen y una modificación del estado, pasando de líquido a sólido. La presión de expansión de la resina puede alcanzar 10.000 kPa. La reacción comienza y finaliza muy rápidamente. Así, la resina alcanza sus características físico-químicas definitivas en algunos segundos.

Cuando la resina penetra en el terreno a tratar aumentando de volumen, comprime el suelo en todas las direcciones, expansión radial, favoreciendo las vías que ofrecen menor resistencia. La expansión de la resina continúa hasta que el terreno impide una compresión radial suplementaria. En ese momento, la única posibilidad de expansión se traduce en un desplazamiento del terreno hacia arriba, Figura 5.



**Figura 5.** Intervención con la tecnología Uretech Deep Injections®

La inyección continúa en cada punto hasta la observación de un principio de levantamiento de la estructura.

Cuando se observe este principio de levantamiento, significa que la acción consolidante se está dirigiendo hacia arriba y que esta es la dirección que opone menor resistencia, mientras alrededor el terreno tiene resistencias superiores respecto a la disminución de carga de la estructura, lo que demuestra que el suelo de cimentación ha sido suficientemente compactado para resistir, no solamente al aumento de cargas estáticas, sino también a las que se desarrollan con el levantamiento.

La consolidación del suelo de cimentación va acompañada siempre de un levantamiento de la estructura, lo que permite comprobar, en tiempo real, la eficacia del método.

Al final de la inyección los tubos quedan en el terreno. Cuando la inyección se realiza a diferentes profundidades, el primer nivel a inyectar será el superior, procediendo posteriormente con el siguiente nivel, una vez endurecida la mezcla de resina.

Durante las operaciones de inyección, el consumo de mezcla se mide en cada punto de inyección y se compara con el consumo nominal del proyecto.

Cada intervención se controla con un nivel láser con el fin de detectar cualquier movimiento vertical de la estructura tratada.

La interpretación teórica del procedimiento de inyección profunda en el terreno, Uretek Deep Injections®, de la resina de poliuretano expandido Geoplus®, se puede esquematizar como dos muelles que interactúan entre sí, el muelle «resina» y el muelle «terreno»:

“A la salida del tubo de inyección el muelle «resina» está completamente contraído. La expansión de la resina se produce en detrimento del terreno inyectado, muelle «terreno».

El sistema estará en equilibrio cuando el muelle «resina» haya alcanzado un grado de expansión tal que la fuerza generada que resulte de ello sea igual a la reacción opuesta del terreno comprimido, muelle «terreno». En este punto el sistema «resina/terreno» se encuentra en equilibrio estable debido al cambio de estado de la resina que se solidifica.

La resistencia ofrecida por la resina solidificada es muy superior a la resistencia del terreno comprimido, por lo tanto el sistema permanece estable en el tiempo. La operación descrita antes se produce en cada punto de inyección, y se disipa en la masa del terreno tratado. Por consiguiente, las sobrepresiones intersticiales se disipan con mucha rapidez”.

La inyección se ejecuta mientras la resina se encuentra todavía en estado líquido, pero ya en fase de expansión. Esta resina posee las siguientes características:

- Fuerza de expansión máxima de 10.000 kPa
- Reacción estable y controlada
- Módulo elástico similar al de los suelos
- Ligera, no recarga el terreno
- Resistencia a compresión muy superior a lo necesario

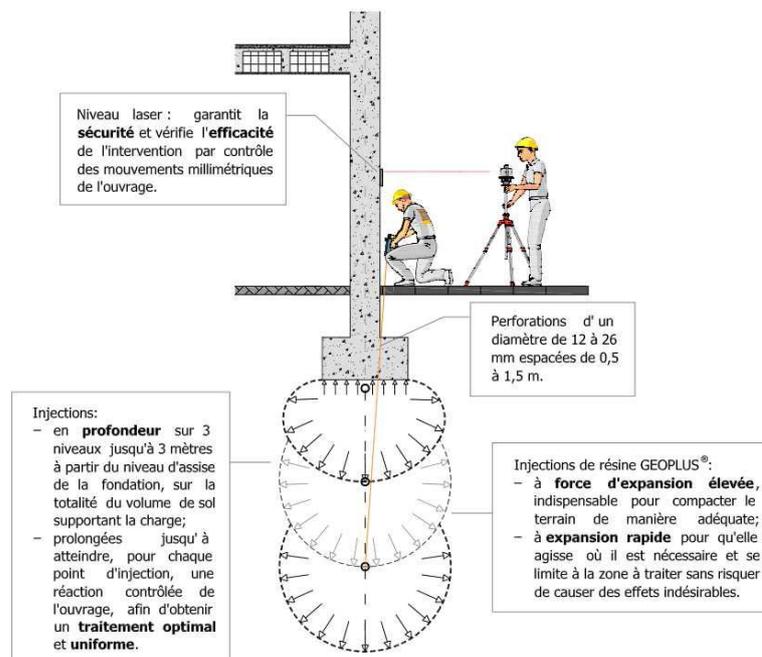
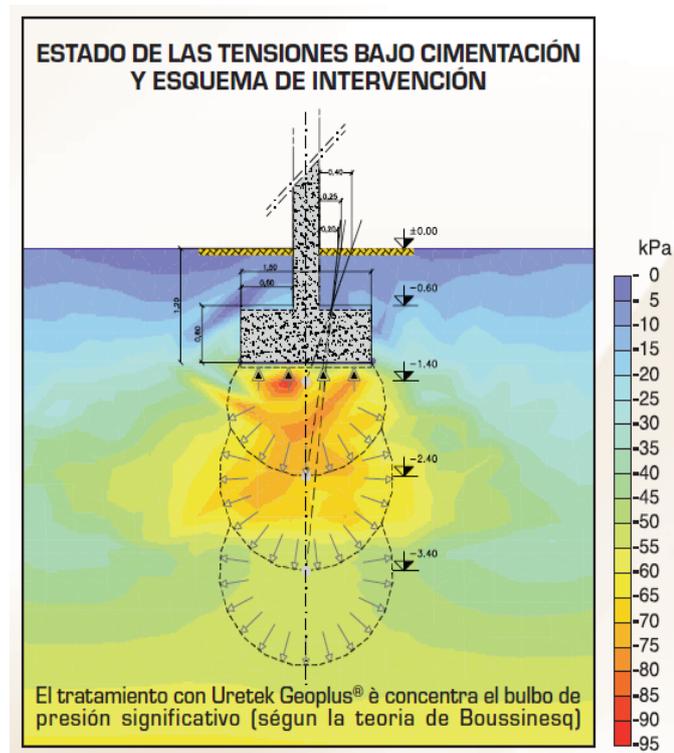
Tras la reacción química, la resina transmite al terreno una acción de pre-compresión, que induce una disminución de índice de huecos. En pocos instantes aumenta hasta 10-15 veces su propio volumen, desarrollando una presión máxima de hasta 10.000 kPa.

La fuerza de expansión generada por la reacción química disminuye con el aumento del grado de expansión de la resina. Esto significa que el grado de expansión se “autoregula” en función del confinamiento y de la resistencia encontrada.

La rapidez de la reacción de expansión y solidificación no deja que la resina se aleje más de 2 metros del punto de inyección. La expansión de la resina continúa hasta que el terreno circundante a la inyección se compacta en todas las direcciones, de tal forma que rechaza cualquier compresión posterior, motivando que la resina se expanda hacia la zona menos

comprimida del terreno que, normalmente, es hacia la superficie del terreno “dirección vertical ascendente”.

En la figura 6, se representa un esquema de intervención con la tecnología Urettek Deep Injections® y las fases de inyección en tres niveles de un suelo bajo una cimentación superficial aislada (zapata), así como la distribución del estado de las tensiones bajo la cimentación.



**Figura 6.** Esquema y fases de la intervención con la tecnología Urettek Deep Injections®

En esta intervención, la inyección se concentra en el bulbo de Boussinesq. Es decir en el volumen de terreno expuesto a las tensiones inducidas por la distribución de carga del edificio. Generalmente es la baja resistencia de este volumen lo que causa los asentos de las estructuras.

Se puede concluir que la tecnología Uretek Deep Injections® se diferencia de demás técnicas de inyección por:

- El uso de una resina Geoplus®, de alto poder expansivo (más de 5 veces su volumen original) y rápido (inicio de expansión de 2 a 5 segundos).
- La fuerte presión de hinchamiento de la resina Geoplus® durante el proceso de expansión en el suelo (superior a 500 kPa).
- Una sencilla puesta en obra, utilizando un material muy ligero, permitiendo una ejecución “cuasi” no destructiva.
- La inyección de la resina en profundidad (hasta unos 8,0 metros con respecto a la plataforma de trabajo).
- El control de la expansión de la resina a través del control de movimientos con nivel láser.
- Una forma única de propagación de la resina que se inyecta, ya sea por impregnación (macrohuecos y grietas), o por fracturación/rotura, o por una combinación de estos dos modos de difusión, sumando además la acción de compactación estática tridimensional.

La tecnología Uretek Deep Injections® cumple con la norma EN 12715, ejecución de “Obras geotécnicas especiales”, en lo referente a la inyección con o sin desplazamiento de terreno, y está protegida por la patente europea EPO N° 0851064. La resina Geoplus® está protegida por la solicitud de patente europea EPO N° 1314824.

## 4. COMPORTAMIENTO DE LA RESINA GEOPLUS®

El objeto de este epígrafe es el de presentar y analizar los resultados obtenidos en laboratorio de las principales propiedades de la resina de poliuretano expandido, Geoplus®.

Una forma plausible de cuantificar y valorar, de forma objetiva, las características de esta resina es analizar su comportamiento, en función de sus:

1. Propiedades mecánicas.
2. Propiedades químicas.
3. Durabilidad.
4. Comportamiento frente a ciclos de humedad y sequedad.

### 4.1. Propiedades mecánicas.

#### 4.1.1. Resistencia a compresión no confinada.

Los ensayos destinados a la determinación de la resistencia a compresión no confinada han sido realizados en los siguientes laboratorios:

- A. Laboratorio del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima, Ambiental y Geotécnica de la Universidad de Padua (Italia). Los resultados fueron presentados en el XXII Congreso Nacional de Geotecnia, celebrado en Palermo (Italia) en septiembre del año 2004. Según Norma UNI 6350-68
- B. Laboratorio de Geotecnia de la Fundación FDOT SMO, conjuntamente con FDOT Distrito 2 (Canadá). Los resultados fueron presentados en la Conferencia anual de 2010 de la Asociación del Transporte de Canadá. Según Norma ASTM D 1621
- C. Laboratorio de Geotecnia del Instituto IFB Gauer en Alemania. Según Norma ÖNORM B 4454.

Los ensayos para determinar resistencias a la compresión no confinada se han realizado, en todos los casos y laboratorios, sobre cinco probetas cúbicas, de 50 mm de lado. En la figura 7, se reflejan las probetas utilizadas para los ensayos de resistencia a compresión no confinada.



**Figura 7.** Probetas para ensayos de resistencia a compresión no confinada.

- **Laboratorio del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima, Ambiental y Geotécnica de la Universidad de Padua (Italia).**

El objeto del presente epígrafe es mostrar los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión no confinada (expansión lateral libre), según la Norma UNI 6350-68 “*Plásticos celulares rígidos. Determinación de las propiedades resultado de la compresión*”.

– **Metodología y resultado del ensayo.**

Para la realización del ensayo, se siguió las especificaciones de la Norma antes citada. Se empleó una prensa, para la aplicación de la carga vertical, capaz de mantener durante la prueba una velocidad predeterminada y constante e igual a 0,5 mm/minuto.

El ensayo se realizó en probetas de forma cúbica de lado de 50 mm. Se utilizaron 5 muestras para cada densidad investigada, que fluctuó entre los 0,5 KN/m<sup>3</sup> a los 3,3 KN/m<sup>3</sup>.

La resistencia máxima a la compresión, se define como la relación entre la carga máxima aplicada durante la ejecución de la prueba y el área superficial de la sección transversal inicial, normal a la dirección de la carga.

La condición de máxima resistencia se caracteriza, no por una verdadera ruptura de la muestra, sino por una pérdida de la alineación entre el eje vertical de la muestra y el eje de carga del pistón. Esta circunstancia hace imposible la continuación del ensayo ya que la muestra se inclina hacia las zonas de menor resistencia. Este comportamiento es debido a que su interior no es perfectamente homogéneo.

Al cesar la fuerza vertical aplicada a la muestra; esta retorna a su forma cúbica y tamaño inicial. El material ensayado presenta un buen grado de isotropía, porque la resistencia máxima se consigue independientemente de la dirección de la carga.

- **Laboratorio de Geotecnia de la Fundación FDOT SMO (Canadá).**

El objeto del presente epígrafe es mostrar los resultados obtenidos de acuerdo con la norma ASTM D 1621, “*Método estándar para determinar las propiedades de compresión de plásticos celulares rígidos*”.

– **Metodología y resultado del ensayo.**

Este método de prueba proporciona información sobre el comportamiento de los materiales celulares bajo cargas de compresión.

La norma ASTM D1621-04a, especifica las condiciones de ensayo para determinar las propiedades de compresión de los materiales celulares rígidos, en particular los plásticos expandidos. Las espumas rígidas se utilizan normalmente en la industria de la construcción.

Con esta tipología de ensayo se obtienen los datos de prueba, y de una curva de carga-deformación completa. Por lo que es posible calcular la tensión de compresión en cualquier carga (como tensión de compresión a carga proporcional límite o resistencia a la compresión a carga máxima) y para calcular el módulo de elasticidad efectivo.

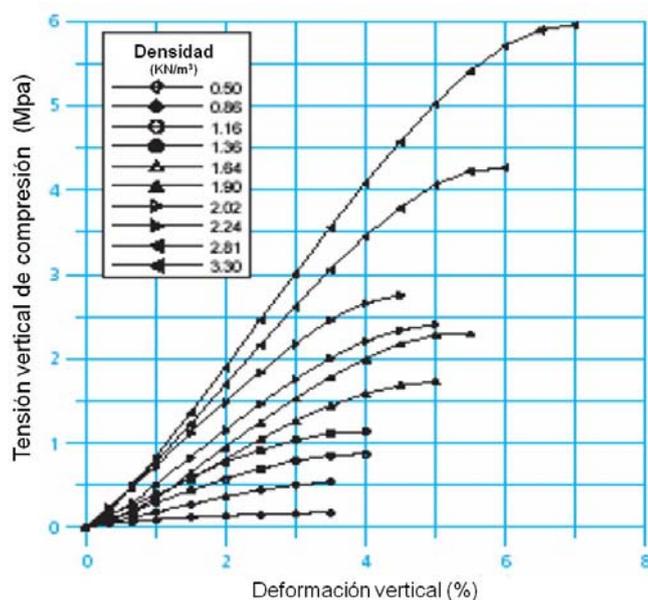
- **Laboratorio de Geotecnia del Instituto IFB Gauer (Alemania).**

El objeto del presente epígrafe es mostrar los resultados obtenidos de acuerdo con la norma ÖNORM B 4454.

- **Metodología y resultado del ensayo.**

Las probetas cúbicas, de lado 50 mm, presentaban una densidad comprendida entre 0,5 kN/m<sup>3</sup> y 3,3 kN/m<sup>3</sup>. Se han ensayado 5 probetas por cada densidad investigada.

En función de la densidad de las probetas, el material resulta tener una resistencia a la compresión incluida entre 0,2 y 6,0 MPa, Gráfico 1. Los resultados obtenidos no se refieren a la resistencia de ruptura ya que el ensayo no ha determinado la ruptura de las probetas, sino una gran deformación horizontal.



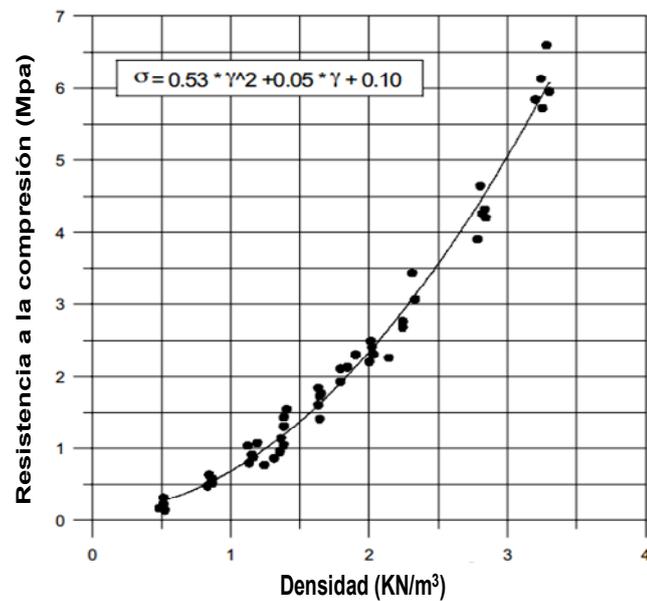
**Gráfico 1.** Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión monoaxial

Los valores de resistencia a la compresión monoaxial determinados sobre probetas de elevada densidad son claramente superiores a los de los terrenos naturales.

Al igual que los ensayos realizados en la Universidad de Padua (Italia), una vez cesada la carga aplicada en la prensa, las muestras han adquirido la geometría original. Las deformaciones verticales medidas estaban comprendidas entre el 3,5% y el 7%.

- **Interpretación de los resultados obtenidos.**

Del análisis de los resultados obtenidos se verifica que, al aumentar la densidad de la resina Geoplus®, la resistencia a compresión aumenta rápidamente, Gráfico 2.



**Gráfico 2.** Resistencia a la compresión en función de la densidad de la muestra ensayada (Valores determinados sobre 55 muestras).

Cabe destacar, como a valores reducidos de la densidad de la resina, la resistencia a la compresión es bastante elevada y capaz de superar las tensiones presentes en un suelo.

De las curvas de deformación por compresión, se han calculado los módulos de elasticidad (E) correspondientes a tres porcentajes de deformaciones (0,33, 0,67 y 1%). Los resultados obtenidos para el módulo de elasticidad, fluctúan entre los 15 a 80 MPa, perfectamente comparables con los módulos de elasticidad de un suelo de naturaleza arenosa “de comportamiento geotécnico granular”.

Por lo tanto, del análisis de los resultados obtenidos, se puede concluir que un suelo granular sometido a un tratamiento con la resina de poliuretano expandido, presenta un grado de rigidez homogéneo en todo el volumen de terreno tratado, sin que existan redistribuciones anómalas a las tensiones aplicadas.

Los resultados de las pruebas de resistencia a compresión no confinada parecen tener una correlación directa con la densidad de la muestra ensayada. Se ha comprobado como las muestras con densidades bajas de alrededor de 0,1 g/cm<sup>3</sup> (100 kN/m<sup>3</sup>), se corresponden con resistencias a la compresión de tan solo 105 kPa.

Para muestras cuya densidad del material de espuma variaron desde los 0,15 a 0,21 g/cm<sup>3</sup>, las resistencias a la compresión que varían desde los 448 a los 470 kPa respectivamente.

#### 4.1.2. Expansividad bajo condiciones edométricas.

Los ensayos destinados a la determinación de la expansión bajo condiciones edométricas de la resina Geoplus®, se han realizado en el Laboratorio del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima, Ambiental y Geotécnica de la Universidad de Padua (Italia).

## – Metodología y resultado del ensayo.

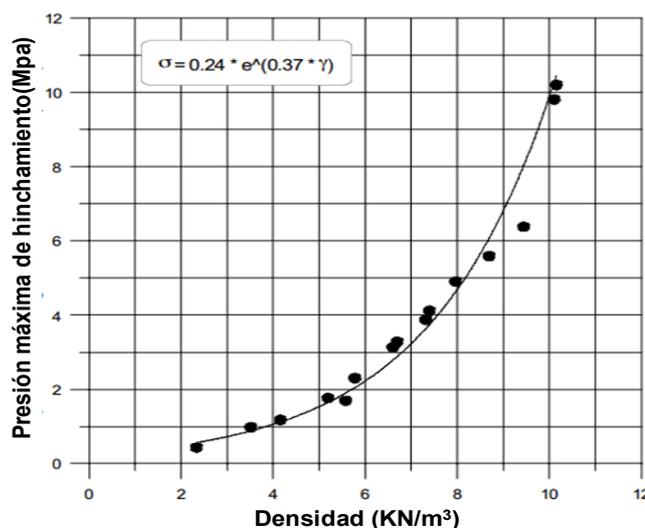
Para la realización de los ensayos, el instrumental utilizado permite la inyección de la resina dentro de un cilindro metálico rígido, dotado de pistón.

El ensayo se realizó con muestras cilíndricas, de 80 mm de diámetro y altura variable entre 60 mm y 116 mm) y una densidad comprendida entre 2,0 kN/m<sup>3</sup> y 10,15 kN/m<sup>3</sup>. La presión de hinchamiento máximo de la resina obtenida en condiciones edométricas es igual a 10,2 MPa.

Con posterioridad a la inyección de resina dentro del cilindro, esta comienza su expansión que, a causa de la elevada rigidez del cilindro metálico, solo permite el movimiento en dirección vertical ascendente. Siendo la presión de expansión igual a la presión necesaria para impedir que el pistón se mueva hacia arriba.

En los ensayos recopilados, se han obtenido valores de presión de expansividad que fluctúan entre los 0,20 MPa y 10,0 MPa, en valores de densidades comprendidas entre ( $\gamma = 0,5$  kN/m<sup>3</sup> a 10,0 kN/m<sup>3</sup>).

En la Gráfico 3, se observa que la presión de expansividad depende de la densidad de la resina.



**Gráfico 3:** Hinchamiento en condiciones edométricas. Evolución de la presión máxima de hinchamiento en función de la densidad de la muestra.

Estos valores son indicativos de la presión hinchamiento que la resina es capaz de experimentar en caso de que se inyecte en el suelo.

El grado de expansión de la resina Geoplus®, inyectada en el suelo, está comprendido entre 200 y 2000 % del volumen inicial, estando el peso específico de la resina inyectada, normalmente, comprendido entre 0,7 y 3,5 kN/m<sup>3</sup>.

El estado de tensión del suelo tratado, determina la presión de expansión a la que la resina completa la reacción de polimerización.

El peso de volumen sólido de la resina, además de su grado de expansión volumétrica, medidos al final del proceso, son ambos función de este valor de presión.

En caso de que la reacción de polimerización ocurra en un entorno sin confinamiento (al aire libre), la resina de alta presión de expansión se consolida a una densidad igual a  $0,4 \text{ kN/m}^3$  con un grado de expansión volumétrico igual a 30 veces su volumen original.

#### 4.1.3. Resistencia a la tracción monoaxial.

Para las actuales aplicaciones del producto la resistencia a la tracción tiene relevancia relativa, con respecto a los terrenos naturales la resina polimerizada posee una resistencia a la tracción igual a la resistencia a la compresión.

El ensayo de tracción ha sido realizado sobre muestras de sección transversal reducida (25 mm), según la norma UNI 8071. Los valores de resistencia a la tracción determinados para densidades de  $0,7$  a  $5,0 \text{ kN/m}^3$ , estaban incluidos en el intervalo de valores de  $0,5$  a  $8,0 \text{ MPa}$ .

#### 4.1.4. Deformación.

En el Instituto IFB Gauer (Alemania) se ha estudiado la curva esfuerzo-deformación de muestras de resina de poliuretano expandido Geoplus®, endurecida y con densidades diferentes.

En los ensayos de compresión edométrica, ha sido determinado el comportamiento deformacional de la muestra con densidades entre  $1$  y  $3 \text{ kN/m}^3$ . Durante los ensayos ha sido posible delimitar claramente el campo de deformación elástico-lineal de el campo plástico y determinar las así llamadas máximas tensiones sostenibles, bajo cuya acción no suceden todavía deformaciones plásticas.

Además se han podido calcular los módulos de elasticidad válidos para el campo elástico. En la Tabla 2, se recogen los resultados correspondientes a las tres densidades de referencia.

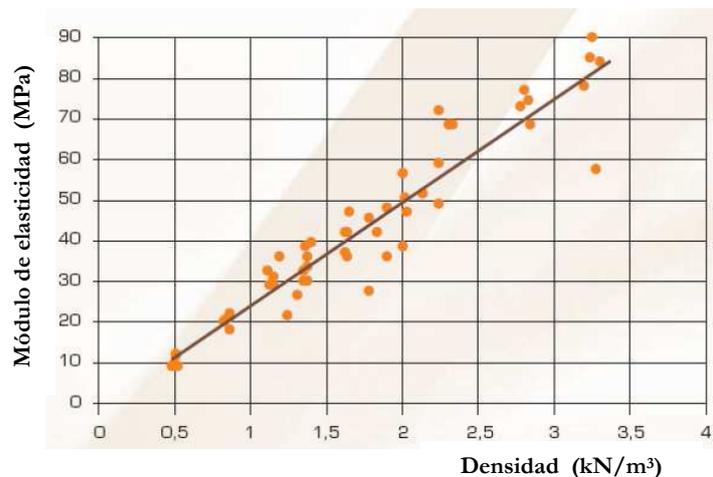
**Tabla 2.** Resumen de los resultados obtenidos

PROPIEDADES	UNIDADES	VALORES OBTENIDOS		
Densidad	$\text{kN/m}^3$	1,0	2,0	3,0
Tensión máxima	$\text{N/mm}^2$	0,77	2,20	5,30
Deformación	0/00	50	40	90
Módulo de deformación	$\text{N/mm}^2$	15,4	55,0	58,9

#### 4.1.5. Módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad (E) de la resina de poliuretano expandido Geoplus® se ha determinado por medio de ensayos de compresión vertical, con la expansión lateral libre, según norma UNI EN 6350-68, sobre muestras cúbicas de 50 mm de lado.

Se han ensayado cinco muestras, para valores de densidad comprendidos entre  $0,5 \text{ kN/m}^3$  y  $3,3 \text{ kN/m}^3$ . Los valores de módulo de elasticidad se muestran en la Gráfico 4.



**Gráfico 4.** Módulo elástico en función de la densidad inicial de la muestra.

El valor del módulo de elasticidad calculado, en función de una deformación vertical de 1 %, varía entre 10 y 90 MPa.

#### 4.1.6. Permeabilidad.

Buzzi et al., (2008), llevaron a cabo ensayos de conductividad hidráulica en la resina Geoplus® pura y en muestras de mezcla de suelo - resina (suelo inyectado).

Para una densidad mínima ( $0,36 \text{ kN/m}^3$ ), o una expansividad máxima, los valores de conductividad hidráulica oscilan entre  $10^{-8}$  y  $10^{-9}$  m/s, en la resina pura, indicando la existencia de una porosidad interconectada reducida. En muestras de suelo inyectado, la conductividad hidráulica se aproxima a  $10^{-10}$  m/s.

A partir de estos resultados, es posible concluir que la estructura de la resina es, casi en su totalidad, de células cerradas e impermeable al agua.

En condiciones naturales, la densidad de la resina no varía en condiciones de inmersión en agua, exceptuando procesos de degradación generados artificialmente.

La resina Geoplus® se puede considerar casi impermeable y prácticamente estanca al agua.

#### 4.2. Propiedades químicas.

La composición química de la resina de poliuretano expandido Geoplus®, que se obtiene a partir de una mezcla de dos componentes, esencialmente polioles e isocianatos, denominados comercialmente como Geoplus® A y Geoplus® B, se encuentra protegida por la solicitud de patente europea EPO: N° 1 314 824 y está registrada con el nombre comercial de Geoplus®.

Las propiedades técnicas de estos componentes, Geoplus® A y Geoplus® B, se recogen en el Anexo1.

En los epígrafes siguientes se recogen las características toxicológicas, resistencia a la colonización de hongos y bacterias, resistencia a la agresión química y se concluye con el comportamiento medioambiental de la resina en los diferentes tipos de usos de suelos.

#### 4.2.1. Toxicidad.

Los ensayos destinados a determinar la no toxicidad de la resina Geoplus® y en especial los destinados a conocer su comportamiento en relación con el crecimiento de las plantas en zonas donde se han realizado inyecciones de resina, han sido realizados en el laboratorio del Instituto de Higiene y Toxicología Ambiental “**Ruhrgebiets Hygiene-Institute**” de Gelsenkirchen, Alemania.

Estos ensayos y pruebas de toxicidad se realizaron durante 2003, con el propósito de verificar la ausencia de elementos nocivos en la inyección de resina de poliuretano expandido Geoplus®, y si esta inyección afectaba al crecimiento de la flora existente en las muestras ensayadas.

El informe realizado concluye lo siguiente:

«En términos de toxicidad para las plantas, se puede demostrar que se está empezando a detectar una desaceleración en el desarrollo de plantas, hasta 1000 gramos de resina por 1 kg de suelo, siendo más sensibles los rábanos.

Sin embargo, el valor IC-50 (concentración del 50%) es muy superior a los niveles de concentración considerados por la directiva CE 67/548 / CEE de la Comunidad Europea, para evaluar la toxicidad del agua permitiendo la clasificación en tóxicos o peligrosos.

Por lo tanto, la denominación R54 (tóxico para las plantas) no es aplicable (tal tasa de concentración de este producto en el suelo nunca se incluye en el Anexo VI, N ° 5.22 de la directiva de la UE 67/548 / CEE).

La concentración en el suelo de la resina Geoplus®, después de la inyección, no excede de 1,5% (de 5 a 30 kg resina por m<sup>3</sup> de suelo tratado). Esta concentración es de 20 a 50 veces inferior al IC-50, a partir del cual se comienza a detectar una desaceleración en el crecimiento de los rábanos.

En consecuencia con estos resultados se puede concluir que, las inyecciones de resina de poliuretano expandido Geoplus®, no tienen impacto toxicológico en el medio ambiente.

#### 4.2.2. Resistencia a hongos y bacterias.

Con el objeto de estudiar la resistencia de la resina Geoplus® a la colonización de hongos (mohos) y bacterias, se realizó un ensayo de la resina, según las especificaciones de las Normas ASTM G 21-96 y ASTM G22-76.

Los resultados ponen de manifiesto su excelente comportamiento ante la colonización de hongos (mohos) y bacterias.

#### 4.2.3. Resistencia a la agresión química.

En el informe realizado por SOCOTEC, en diciembre de 2011, sobre el procedimiento Uretek, utilizado para rehabilitación y refuerzo de losas de hormigón no portante, se recogen, en

el Anexo 3.1, los ensayos que se realizaron para determinar la resistencia a la agresión química de la resina Geoplus® frente a diferentes tipos de agentes químicos.

Los resultados obtenidos, muestran una excelente resistencia de la resina a la agresión química a los principales productos analizados, a excepción de los ácidos concentrados, Tabla 3.

La resistencia de la resina Geoplus® los productos químicos se evaluó de acuerdo con el volumen de pérdida sufrida, después de una exposición prolongada a los 58 compuestos químicos más comunes.

Le evaluación consideró las siguientes categorías reflejadas en la leyenda de la Tabla 3.

**Tabla 3.** Resistencia a la agresión química de la resina Geoplus®

**Leyenda**

■■■■■	= Resistencia excelente (pérdida de volumen < 3%)
■■■■	= Resistencia buena (entre 3% y 6%)
■■■■	= Resistencia media (entre 6% y 15%)
■■■	= Resistencia baja (entre 15% y 25%)
■	= ninguna resistencia
No poner en contacto con el material expandido.	
Fuerte reacción disolvente o agresión química (material destruido)	

■■■■■ Acetato de indigo	■■■■■ Hexano
■■■■■ Acetato de butilo	■■■■■ Formaldehido
■■■■■ Acetato de etilo	■■■■■ Gasóleo
■■■■■ Acetato de etilo	■■■■■ Etilenglicol 100%
■■■■■ Ácido acético al 2%	■■■■■ Hidróx. de Amonio con.
■■■■■ Ácido butírico	■■■■■ Hidróx. de Amonio 10%
■■■■■ Ác. Clorhídrico con.	■■■■■ Hidróxido de Potasio 1%
■■■■■ Ác. Clorhídrico 25%	■■■■■ Hidróxido de Sodio conc.
■■■■■ Ác. Clorhídrico 10%	■■■■■ Isopropanol
■ Ác. Nítrico concentrado*	■■■ Metiletilcetona
■■■■■ Ác. Nítrico al 10%	■■■■■ Aceite de lino
■ Ác. Sulfúrico Conc.*	■■■■■ Aceite de lubricación
■■■■■ Ác. Sulfúrico 10%	■■■■■ Aceites minerales
■■■■■ Agua	■■■■■ Ortoclorobenceno
■■■■■ Agua de mar	■■■■■ Ortodichlorobenceno
■■■■■ Alcohol Butílico	■■■■■ Sosa cáustica concentrada
■■■■■ Alcohol Etilico	■■■■■ Sosa cáustica 25%
■■■■■ Alcohol Metílico	■■■■■ Sulfato de amonio 2%
■■■■■ Gasolina	■■■■■ Sulfuro de hidrógeno saturado
■■■■■ Gasolina/Benceno 60/40	■■■■■ Sulfuro de hidrógeno 80%
■■■■■ Benceno	■■■■■ Solución NaCl saturada
■■■■■ Queroseno	■■■■■ Solución NaCl 10%
■■■■■ Clorato de Potasio 5%	■■■■■ Disolvente para barniz
■■■■■ Cloruro de Benzol	■■■■■ Estireno
■■■ Cloruro de Metileno	■■■■■ Tetracloruro de carbono
■■■■■ Combustible JD 4	■■■■■ Tolueno
■■■■■ Combustible JD 5	■■■■■ Trementina
■■■■■ Di-isobutileno	■■■ Tricloretileno
■■■■■ Di-isobutil-cetona	■■■■■ Xileno

Sólo en 2 casos (ácido nítrico concentrado y ácido sulfúrico concentrado) no se puede hablar de resistencia, ya que el material se ha destruido completamente al contacto con estos dos ácidos concentrados. No obstante, estos componentes químicos son muy activos, y pueden destruir casi todos los materiales, incluido el metal.

#### 4.2.4. Compatibilidad medioambiental.

Con el propósito de verificar el carácter inerte de la resina de poliuretano expandido Geoplus®, se realizó su caracterización medioambiental, a través de dos campañas de análisis (años 2003 y 2009), en el Laboratorio del **Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima, Ambiental y Geotécnica de la Universidad de Padua (Italia)**, dentro del Convenio suscrito entre la Universidad de Padua y Uretek.

- **Análisis realizado en 2003**

La caracterización se ha realizado en base a una muestra proveniente de un sondeo efectuado en un suelo en que se había realizado una inyección, Uretek Deep Injections®, con la resina Geoplus®. Esta caracterización se ha realizado de acuerdo con las especificaciones de la normativa italiana Decreto Ministerial 471/99. En particular, el Anexo 1 de la D.M. 471/99, define el valor de concentración límite aceptable en el suelo y agua subterránea en relación específica con el uso del suelo.

De acuerdo con lo previsto en este anexo, se ha considerado la fracción granulométrica mayor de 2 mm de la muestra obtenida, con un tomamuestras específico, en el nivel del terreno inyectado con la resina Geoplus®. Con esta muestra se ha efectuado un ensayo de cesión de agua saturada de CO<sub>2</sub> y el eluato ha sido analizado considerando los parámetros recogidos en el Anexo 1, relativos al valor de concentración límite aceptable para el agua subterránea.

Los resultados obtenidos en este análisis se recogen en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Resultados analíticos del eluato de la resina Geoplus®

<b>Metales</b>		
Parámetro	Concentración µg/l	Límite (µg/l) (D.M. 471/99)
Aluminio (Al)	<10	200
Antimonio (Sb)	<0,5	5
Arsénico (As)	<1	10
Plata (Ag)	<1	4
Berilo (Be)	<0,1	4
Cadmio (Cd)	<0,1	5
Cobalto (Co)	<0,1	50
Cromo VI (Cr)	<5	5
Cromo total (Cr)	<1	50
Hierro (Fe)	<5	200
Manganeso (Mn)	1	50
Mercurio (Hg)	<0,1	1
Níquel (Ni)	<1	20
Plomo (Pb)	1	10
Selenio (Se)	<0,1	10
Zinc (Zn)	24	3000

### Contaminantes inorgánicos

Parámetro	Concentración µg/l	Límite (µg/l) (D.M. 471/99)
Boro (B)	35	1000
Cianuro libre	<5	50
Fluoruro	<250	1500
Nitrito	<50	500
Sulfato (mg/l)	<1,0	250

### Compuestos orgánicos aromáticos

Parámetro	Concentración µg/l	Límite (µg/l) (D.M. 471/99)
Benceno	<0,1	1
Etilbenceno	<0,1	50
Estireno	<0,1	25
Tolueno	<0,1	15
Xileno	<0,1	10

### Clorados alifáticos cancerígenos

Parámetro	Concentración µg/l	Límite (µg/l) (D.M. 471/99)
Clorometano	<0,1	1,5
Triclorometano	<0,1	0,15
Cloruro de Vinilo	<0,1	0,5
1,2-Dicloroetano	<0,1	3
1,1-Dicloroetileno	<0,05	0,05
1,2-Dicloropropano	<0,1	0,15
1,1,2-Tricloroetano	<0,1	0,2
Tricloroetileno	<0,1	1,5
1,2,3-Tricloropropano	<0,001	0,001
1,1,2,2-Tetracloroetano	<0,05	0,05
Tetracloroetileno (PCE)	<0,1	1,1

### Clorados alifáticos no cancerígenos

Parámetro	Concentración µg/l	Límite (µg/l) (D.M. 471/99)
1,1-Dicloroetano	<0,1	810
1,2-Dicloroetileno	<0,2	60

### Alifáticos halogenados cancerígenos

Parámetro	Concentración µg/l	Límite (µg/l) (D.M. 471/99)
Tribromometano (Bromoformio)	<0,1	0,3
1,2-Dibromoetano	<0,001	0,001
Dibromocloroetano	<0,1	0,13
Bromodichlorometano	<0,1	0,17

### Fenoles y clorofenoles

Parámetro	Concentración µg/l	Límite (µg/l) (D.M. 471/99)
2-Clorofenol	<1	180
2,4-Diclorofenol	<1	110
2,4,6-Triclorofenol	<0,5	5
Pentaclorofenol	<0,5	0,5

### Nitrobencenos

Parámetro	Concentración µg/l	Límite (µg/l) (D.M. 471/99)
Nitrobenceno	<0,5	3,5
1,2-Dinitrobenceno	<0,5	15
1,3-Dinitrobenceno	<0,5	3,7
2-Cloronitrobenceno	<0,2	0,5
3-Cloronitrobenceno	<0,2	0,5
4-Cloronitrobenceno	<0,2	0,5

### Clorobencenos

Parámetro	Concentración µg/l	Límite (µg/l) (D.M. 471/99)
Monoclorobenceno	<0,1	40
1,2-Diclorobenceno	<0,1	270
1,4-Diclorobenceno	<0,1	0,5
1,2,4-Triclorobenceno	<0,1	190
1,2,4,5-Tetraclorobenceno	<0,1	1,8
Pentaclorobenceno	<0,1	5
Exaclorobenceno	<0,01	0,01

### Pesticidas

Parámetro	Concentración µg/l	Límite (µg/l) (D.M. 471/99)
Alacloro	<0,05	0,1
Aldrín	<0,03	0,03
Atrazina	<0,05	0,3
Alfa-esacloroetano	<0,05	0,1
Beta-esacloroetano	<0,05	0,1
Gamma-esacloroetano (Lindano)	<0,05	0,1
Clordano	<0,05	0,1
DDD, DDT, DDE	<0,05	0,1
Dieldrin	<0,03	0,03
Endrin	<0,05	0,1
<b>Sumatorio Pesticidas</b>	<b>&lt;0,5</b>	<b>0,5</b>

#### Aminas aromáticas

Parámetro	Concentración µg/l	Límite (µg/l) (D.M. 471/99)
Amina	<0,1	10
Difenilamina	<0,1	910
P-Toluidina	<0,1	0,35

#### Policíclicos aromáticos

Parámetro	Concentración µg/l	Límite (µg/l) (D.M.471/99)
1 Benzo (a) Antraceno	<0,01	0,1
2 Benzo (a) Pireno	<0,01	0,01
3 Benzo (b) Fluoranteno	<0,01	0,1
4 Benzo (k) Fluoranteno	<0,01	0,05
5 Benzo (g,h,i) Perileno	<0,01	0,01
6 Criseno	<0,01	5
7 Dibenzo (a,h) antraceno	<0,01	0,01
8 Indeno (1,2,3-c,d) Pireno	<0,01	50
<b>Sumatorio 3, 4, 5, 8</b>	<b>&lt;0,1</b>	<b>0,1</b>

#### Dioxinas y furanos

Parámetro	Concentración µg/l	Límite (µg/l) (D.M. 471/99)
<b>Sumatorio Dioxinas</b>	<b>&lt;0,0022</b>	<b>0,004</b>

#### Otras sustancias

Parámetro	Concentración µg/l	Límite (µg/l) (D.M. 471/99)
PCB	<0,01	0,01
Acrilamida	<0,1	0,1
Hidrocarburos totales	<10	350

En todos los parámetros reflejados en la Tabla 4, las concentraciones detectadas están por debajo de los valores límite especificados en el Anexo 1 de la D.M. 471/99 “Los valores de concentración límite aceptables en el suelo, subsuelo y aguas subterráneas en relación con las especificaciones del uso del suelo y los criterios de aceptabilidad para las aguas superficiales”.

El informe del laboratorio concluye lo siguiente, “si un suelo no está contaminado antes de la inyección con la resina Geoplus®, este no se contaminará con la inyección de la inyección de acuerdo con lo especificado en D.M. 471/99”.

- **Análisis realizado en 2009**

En el año 2009, se realizó un análisis del eluato de lixiviación de la resina y de la resina original Geoplus®, según términos del Decreto de 15 de marzo de 2006, codificado en el artículo R. 541-65 del Código del Medio Ambiente, vigente en el estado francés.

Este Decreto es de interés, en el caso de la inyección de resinas, al ser aplicable a cualquier instalación en donde existan almacenamientos de residuos inertes (artículo L. 541-30-1 del Código del Medio Ambiente, Francia).

En la aplicación de las disposiciones de este artículo, se consideran residuos “los residuos inertes mencionados en el apartado (e) del artículo 2, Directiva 1999/31/CE, de 26 de abril 1999, de vertido en vertedero de residuos”. Se definen como “residuos inertes” (según el apartado e):

*“aquellos residuos que no experimentan ninguna alteración química significativa o daño biológico apreciable. Los residuos inertes no deben romperse o fraccionarse, no deben arder, son biodegradables y no se deterioran otros materiales con los que entran en contacto de una manera que pueda causar una contaminación susceptible al medio ambiente o perjudicar la salud humana. La lixiviabilidad total, el contenido de contaminantes de los residuos y la ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes y, en particular, no deben afectar a la calidad de las aguas superficiales y / o subterráneas”.*

Para realizar los ensayos, se partió de una muestra original de resina Geoplus®, inicialmente en forma de cubo compacto, con una densidad de 240 kg/m<sup>3</sup>, que se molió y tamizó.

En la tabla 5, se muestran los resultados obtenidos mediante el análisis del eluato de lixiviación de la resina con un líquido/sólido seco de 10 l/kg, según la norma EN 12457-2, teniendo como valores de referencia los límites especificados en el Anexo 2 del Decreto de 15/03/2006.

**Tabla 5.** Resultados analíticos del eluato de lixiviación de la resina Geoplus®

Parámetro	Unidad de medida	Valor obtenido	Límite especificado Tabla 2 Anexo 2 Decreto de 15/03/2006
Antimonio	mg Sb/kg de materia seca	< 0,001	0,06
Arsénico	mg As/kg de materia seca	< 0,01	0,5
Bario	mg Ba/kg de materia seca	1,43	20,0
Cadmio	mg Cd/kg de materia seca	<0,03	0,04
Cromo total	mg Cr/kg de materia seca	<0,1	0,5
Cobre	mg Cu/kg de materia seca	<0,1	2
Mercurio	mg Hg/kg de materia seca	<0,001	0,01
Molibdeno	mg Mo/kg de materia seca	<0,1	0,5
Níquel	mg Ni/kg de materia seca	<0,2	0,4
Plomo	mg Pb/kg de materia seca	<0,3	0,5
Selenio	mg Se/kg de materia seca	0,01	0,1
Zinc	mg Zn/kg de materia seca	0,67	4
Fluoruros	mg F/kg de materia seca	0,1	10
Índice de fenoles	mg fenol/kg materia seca	<0,1	1
COD*	mg C/kg de materia seca	435	500

\*COD: carbono orgánico disuelto.

En la tabla 6, se muestran los resultados obtenidos mediante el análisis de la resina Geoplus® original sólida, a partir de tamaño retenido en el tamiz de 4 mm.

**Tabla 6.** Resultados analíticos de la resina Geoplus®

Parámetro	Unidad de medida	Valor obtenido	Límite especificado Tabla 2 Anexo 2 Decreto de 15/03/2006
COT	mg c/kg de materia seca	686.000	30.000
BTEX	mg/kg de materia seca	<2,2	6
HAP <sup>(*)</sup>	mg/kg de materia seca	<0,03	50
PCB <sup>(**)</sup>	mg/kg de materia seca	<0,01	1
Hidrocarburos	mg/kg de materia seca	<10	500

- COT: carbono orgánico total.
- BTEX: Benceno, Tolueno, etilbenceno, xileno
- HAP: Hidrocarburos aromáticos policíclicos
- PCB: Bifenil policloro
- Hidrocarburos (C10-C40)

(\*) El parámetro "HAP" identifica una familia de compuestos para los que la norma proporciona límites para cada compuesto y un límite para la suma.

(\*\*) El parámetro "PCB" identifica una familia de compuestos que normalmente se expresa como una suma de compuestos; la Norma francesa establece que la familia contiene siete compuestos. No obstante, en este desarrollo, así como el informe de la prueba, se consideraron 12 congéneres.

Del análisis de las tablas 5 y 6, se puede concluir que el único valor que supera el valor límite impuesto por la norma EN 12457-2, corresponde al parámetro COT (Carbono Orgánico Total).

En la preparación y realización de este análisis, así como en el informe final del ensayo, se han considerado los compuestos enumerados en el Decreto Legislativo 152/2006 de la República Italiana, la Sección IV, Título V, anexo 5, tabla 1, y se ha calculado la suma total de las concentraciones de los compuestos considerados.

En consecuencia con estas consideraciones, las inyecciones con resina Geoplus® no tienen incidencia en el medio ambiente.

#### 4.2.5. La gestión de la contaminación del suelo en España.

El artículo 6 del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo, los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados, establece en su apartado 2 que el órgano competente de las Comunidades Autónomas, teniendo en cuenta el uso actual y futuro de los suelos, determinará qué niveles genéricos de referencia son de aplicación en cada caso.

En el apartado 3 establece que los responsables de las Comunidades Autónomas podrán, de forma justificada, extender el alcance de los trabajos de caracterización a otras sustancias no incluidas en los Anexos V y VI de dicho Real Decreto.

El Anexo VII del Real Decreto 9/2005 establece los criterios para el cálculo de los niveles genéricos de referencia para la protección de la salud humana y la metodología a seguir.

##### 4.2.5.1. La gestión de la contaminación del suelo en la Comunidad de Madrid.

De acuerdo con lo establecido en el artículo 2 del Decreto 326/1999, de 18 de noviembre, por el que se regula el régimen jurídico de los suelos contaminados de la Comunidad de Madrid,

las competencias que en relación con los suelos contaminados correspondan a la Comunidad de Madrid se ejecutarán por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, todo ello en concordancia con el artículo 7 de la Ley 5/2003, de 20 de marzo, de Residuos de la Comunidad de Madrid, que establece que corresponde a la Comunidad de Madrid el ejercicio de las competencias relativas a la declaración de suelos contaminados, siendo la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental de la citada Consejería el órgano competente para la gestión de los suelos contaminados, de conformidad con lo establecido en el artículo 8 del Decreto 119/2004, de 29 de julio, por el que se establece la estructura orgánica de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

Se publicó en el Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid número 28, de 2 de febrero de 2006, la Resolución de 12 de diciembre de 2005, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, por la que se someten a información pública los niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid, derivados de acuerdo con los criterios establecidos en el apartado 1 del Anexo VII del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

A tenor de las anteriores premisas, se han comparado los resultados obtenidos en los análisis de los valores medidos en el eluato de la prueba de lixiviación de la resina Geoplus® (Laboratorio del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima, Ambiental y Geotécnica de la Universidad de Padua. Análisis realizado en 2009 y recogido en la tabla 5), con los niveles genéricos de referencia para protección de la salud humana establecidos en la Comunidad de Madrid, Tabla 7.

**Tabla 7.** Comparación entre valores obtenidos del eluato de la resina Geoplus® y los niveles genéricos de referencia establecidos en la Comunidad de Madrid.

Parámetro	Unidad de medida	Valor obtenido eluato	Usos del suelo			
			Industrial (mg/kg)	Urbano (mg/kg)	Otros usos del suelo (mg/kg)	VR90 (mg/kg)
Antimonio	mg Sb/kg de materia seca	< 0,001	80 <sup>b</sup>	8 <sup>b</sup>	0,8	0,48
Arsénico	mg As/kg de materia seca	< 0,01	40	24 <sup>a</sup>	24 <sup>a</sup>	24
Bario	mg Ba/kg de materia seca	1,43	100.000 <sup>c</sup>	15.200	4.200	138
Cadmio	mg Cd/kg de materia seca	<0,03	300 <sup>b</sup>	30 <sup>b</sup>	3	0,22
Cromo total	mg Cr/kg de materia seca	<0,1	-	-	-	-
Cobre	mg Cu/kg de materia seca	<0,1	8.000 <sup>b</sup>	800 <sup>b</sup>	80	20
Mercurio	mg Hg/kg de materia seca	<0,001	15	7	5	0,065
Molibdeno	mg Mo/kg de materia seca	<0,1	1.500 <sup>b</sup>	150 <sup>b</sup>	15	0,7
Níquel	mg Ni/kg de materia seca	<0,2	15.600 <sup>b</sup>	1.560	405	21
Plomo	mg Pb/kg de materia seca	<0,3	2.700 <sup>b</sup>	270	75	30
Selenio	mg Se/kg de materia seca	0,01	3.900 <sup>b</sup>	390	85	0,24
Zinc	mg Zn/kg de materia seca	0,67	100.000 <sup>c</sup>	11.700 <sup>b</sup>	1.170	73
Fluoruros	mg F/kg de materia seca	0,1	-	-	-	-
Índice de fenoles	mg fenol/kg materia seca	<0,1	-	-	-	-
COD*	mg C/kg de materia seca	435	-	-	-	-

\*COD: carbono orgánico disuelto.

<sup>a</sup> VR90 del elemento.

<sup>b</sup> En aplicación del criterio de contigüidad.

<sup>c</sup> En aplicación del criterio de reducción.

Lo interesante de esta tabla comparativa, tabla 7, no es solo el determinar cuáles son los valores de referencia, sino que también el establecer estos límites en función de los distintos usos del suelo, en donde la tecnología de Urettek Deep Injections® está encaminada a actuar.

En la tabla 7, aparecen recogidos los niveles genéricos de referencia para protección de la salud humana de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid, obtenidos mediante aplicación de los criterios establecidos en el Anexo VII del Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, e incorpora las modificaciones efectuadas por la Orden 761/2007, de 2 de abril, de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

Al comparar los resultados obtenidos en los laboratorios franceses y alemán, con los valores genéricos de referencia, se concluye que todas las concentraciones están por debajo de los valores límite establecidos por la Orden 761/2007, de 2 de abril, de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid, que es la más restrictiva del Estado Español.

En consecuencia con estos análisis, la resina de poliuretano expandido Geoplus® cumple con los estándares vigentes en materia de medio ambiente en el Estado Español.

### 4.3. Durabilidad.

El concepto de durabilidad de un material se define como la capacidad de mantener sin cambios sus propiedades a lo largo del tiempo, bajo la influencia de acciones previsibles, de acuerdo con la Directiva sobre materiales de Construcción 89/106/CEE (2004), Documento Guía F, aprobado en diciembre de 2004, Durability and the Construction Products Directive.

La durabilidad depende del destino y sus condiciones de uso. En línea con la directiva europea, la evaluación de la durabilidad de la resina Geoplus® se evaluó sobre la base de dos aspectos:

- La durabilidad de la resina de poliuretano expandido, en general.
- El comportamiento de la resina bajo la influencia las restricciones previsibles de un terreno inyectado.

Las investigaciones destinadas a la determinación de la durabilidad han sido realizadas en los siguientes laboratorios:

- Instituto de Investigación für Wärmeschutz eV (FIW, Munich), año 2010.
- Laboratorio de Geotecnia de la Universidad de Duisburg-Essen, año 2014.

- **Instituto de Investigación für Wärmeschutz eV (FIW, Munich). Alemania.**

Se han realizado un ensayo de envejecimiento en la resina de poliuretano expandido Geoplus® en el Instituto de Investigación für Wärmeschutz eV (FIW, Munich). El ensayo estudia el comportamiento del material en relación con la conductividad térmica, estabilidad dimensional y resistencia a la compresión. En función de los resultados obtenidos, muestran que 28 años después de la aplicación, el material permanece completamente funcional y conserva sus características iniciales inalteradas.

A partir de esta información, han podido establecer una vida mínima de 35 años. El ensayo de envejecimiento acelerado no mostró ninguna pérdida significativa de propiedades. Basándose en estos resultados, se espera que la vida de la resina Geoplus® pueda exceder los 60 años.

El proveedor exclusivo de resina Geoplus®, BAYER, hace referencia a un estudio sobre la sostenibilidad de la resina Geoplus®, que se recoge en el informe "La técnica Uretek se implementa desde los años 70", Van der Wal A., (2010).

- **Laboratorio de Geotecnia de la Universidad de Duisburg-Essen. Alemania.**

El profesor E. Perau, de la Universidad de Duisburg-Essen, Alemania, ha realizado, en 2014, un dictamen pericial sobre la durabilidad, a largo plazo, de la resina Geoplus®, inyectada con la tecnología Uretek Deep Injections®.

Para evaluar la durabilidad y resistencia a largo plazo de la resina, el profesor Perau analiza dos aspectos fundamentales:

- El comportamiento mecánico del material inyectado.
- El análisis de los proyectos ejecutados.

En relación con el comportamiento mecánico del material inyectado, el informe emitido por el Instituto Dr.-Ing. Gauer, Ingenieur-GmbH, Regenstauf, muestra que la resina inyectada Geoplus®, presenta una dispersión extremadamente baja y, en general, concluye que el terreno inyectado no muestra disminución de volumen frente a las cargas a la que se encuentre sometido.

En cuanto al análisis de los proyectos ejecutados, se seleccionaron al azar 50 proyectos de entre los ejecutados en Alemania con la tecnología Uretek Deep Injections®, con preferencia de los más antiguos y de clientes privados, entre los años 1997 y 2012. Este análisis concluye que la tasa de éxito obtenida es extremadamente alta y efectiva a largo plazo.

#### **4.4. Comportamiento frente a ciclos de humedad / sequedad.**

En el estudio del comportamiento de la resina Geoplus®, frente a ciclos de humedad y sequedad, se han considerado la investigaciones realizadas por Paschetto et al., (2008), que fueron presentados en el Symposium International Sécheresse et Construction (SEC), celebrado en París (Francia) en septiembre de 2008.

En este estudio, se ha considerado un material de comportamiento cohesivo, por ser el más sensible a sufrir variaciones volumétricas, frente a cambios en el contenido de humedad (ciclos humedad-sequedad).

Su objetivo, era el de estudiar los efectos del cambio de humedad en el suelo donde se apoya una cimentación, con el propósito de confeccionar un método para mitigar o prevenir problemas de construcción relacionada con la expansividad y retracción de terrenos arcillosos.

La comparación de los efectos sobre el terreno del cambio de humedad y de la inyección de resinas de elevada presión de expansión, ha demostrado que éstas son bastante parecidas en términos de incremento de rigidez, pero la mayor densidad del terreno comprimido por la inyección de resinas impide elevadas variaciones volumétricas.

La sustitución del agua del suelo por resina reduce sensiblemente, en épocas secas, los procesos de retracción provocados por una pérdida de agua al disminuir el contenido de agua natural.

De forma adicional se desprende que la influencia de la expansión de la resina en un suelo homogeneiza los procesos de la absorción/liberación del agua del suelo, los efectos del estado tensional por debajo de la cimentación, y de la reducción de la permeabilidad con respecto a la limitación de la rehidratación.

#### 4.5. Resumen de las propiedades de la resina Geoplus®.

Las principales de características de esta resina son:

- **Presión de expansión:** la presión de expansión máxima de la mezcla bicomponente es de hasta 10.000 kPa y disminuye al aumentar el grado de expansión, hasta alcanzar un estado de equilibrio en el terreno.
- **Grado de expansión:** el grado de expansión, en función de la resistencia del terreno, está comprendido entre el 200 y 2000 % del volumen inicial inyectado.
- **Resistencia mecánica:** la resistencia mecánica de la resina expandida y endurecida depende del grado de expansión. Para pesos específicos entre 0,5 y 3,3 kN/m<sup>3</sup> se han determinado valores de resistencia de 0,2 a 6,0 MPa.
- **Módulo de elasticidad:** el módulo de elasticidad calculado, en función de una deformación vertical de 1 %, varía entre 10 y 90 MPa.
- **Estabilidad en el tiempo:** las intervenciones de inyección se garantiza durante 10 años. Sin embargo años de experiencia confirman que el material inyectado resiste más allá de este período de garantía.
- **Peso específico:** el peso específico de la resina inyectada depende del grado de expansión y está comprendido entre 150 y 300 kg/m<sup>3</sup>.
- **Permeabilidad:** la resina expandida y endurecida posee un coeficiente de permeabilidad de 10<sup>-8</sup> m/s. Este valor corresponde a la permeabilidad de un terreno arcilloso. En los terrenos de estructura granular la resina reduce la permeabilidad e impide la aparición de fenómenos de erosión mecánica por dispersión y disolución (tubificación).

## 5. COMPORTAMIENTO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE TERRENO FRENTE A LA INYECCIÓN DE LA RESINA GEOPLUS®.

Se analizan en este epígrafe el comportamiento y las condiciones de propagación de la resina de poliuretano expandido Géoplus® en los diferentes tipos de terreno, como receptores de la inyección, mediante la tecnología Uretek Deep Injections®.

Esta tecnología consiste, como ya se ha expuesto en epígrafes precedentes, en inyectar en el terreno un cierto volumen de resina, la cual expande y engloba los materiales granulares del suelo, formando un bulbo, fractura los materiales cohesivos del suelo y rellena las fracturas en rocas. La expansión viene acompañada de una reducción de la presión de hinchamiento y del aumento de la tensión media de confinamiento. El proceso se detiene tras llegar a la presión de equilibrio.

La propagación de la resina en el terreno se produce, fundamentalmente, de dos formas, bien por impregnación “difusión”, o bien por rotura por hidrofracturación “claquage”, o por una combinación de ambas formas de propagación. Los mecanismos de propagación de la resina Geoplus® han sido descritos y modelizados por Dominijanni A., y Manassero M., (2014).

La capacidad de propagación de la resina Géoplus®, en los diferentes tipos de terreno, roca y suelo, se puede establecer de acuerdo con los siguientes criterios:

### En roca

- **Roca sana:** no hay propagación.
- **Roca fracturada:** la propagación se hace, exclusivamente, por relleno de la mezcla en las fracturas. El proceso se detiene cuando aumenta la viscosidad de la mezcla (viscosidad crítica) o cuando se llenan las fracturas.

### En suelos granulares

- **Gravas y Arenas:** la propagación es, principalmente, por impregnación “difusión” de los espacios intergranulares. Se pueden observar fenómenos de fractura “claquage” en el suelo cuando la presión de inyección y/o expansión de la resina es más alta que la presión de rotura del suelo.
- **Limos:** después de una breve fase de penetración (a veces no presente), la propagación se produce por fractura “claquage”. La distancia de propagación de la mezcla, a partir del punto de inyección, está principalmente relacionada con la duración del proceso de polimerización de la resina.

### En suelos cohesivos

- **Arcillas:** la propagación se produce, exclusivamente, por fractura “claquage”. Si la presión de hinchamiento de la resina alcanza la presión de rotura, las ramificaciones de la inyección son densas y reticuladas.
- **Arcillas y limos:** Los vacíos y fracturas presentes en la macroestructura del suelo están saturados por la resina, o bien comprimidos por la presión de hinchamiento durante la expansión de la mezcla.

En consecuencia, la resina de poliuretano expandido Géoplus® presenta un comportamiento diferente en función de la granulometría (tamaño de la partícula) del suelo en el que se inyecta.

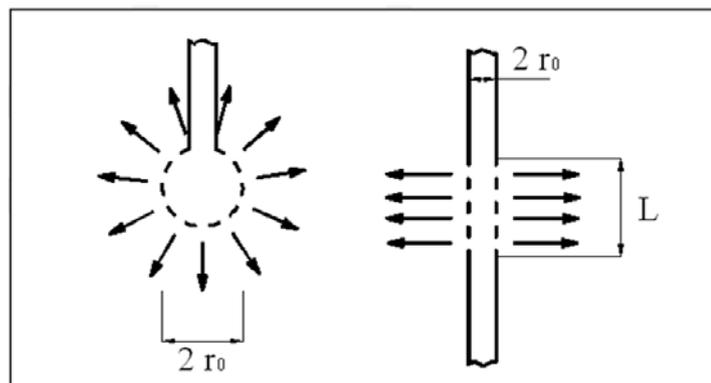
### 5.1. Comportamiento en suelos granulares.

La propagación de la resina Géoplus® en suelos granulares gruesos (grava y arena de grano medio a grueso) se basa en la teoría de la cavidad expandida en medio elasto-plástico, en condiciones “drenadas”, Uretek-Politecnico di Torino, (2013). Debido a la alta conductividad hidráulica de estos suelos, Buzzi et al., (2008), durante la inyección hay un efecto penetración inicial importante, que depende de la viscosidad de la resina y del número y tamaño de los poros del suelo.

En suelos granulares gruesos esta conductividad hidráulica es suficientemente alta para admitir la penetración de la resina en los poros interconectados entre sí (porosidad eficaz), lo que permite la formación de un “bulbo” en el suelo inyectado, que se expande hasta el conseguir las condiciones de equilibrio con la presión de confinamiento que genera en el suelo circundante.

Las condiciones de drenaje son muy importantes en el comportamiento de los diferentes tipos de terreno frente a la inyección. En estos suelos granulares se asume condiciones “drenadas”, ya que la disipación de sobrepresión intersticial generada por la expansión del “bulbo de inyección” es muy rápida.

En función de la viscosidad dinámica de la resina,  $\mu_r$ , y el coeficiente de conductividad hidráulica del suelo impregnado por la resina,  $k_r$ , es posible estimar el radio inicial del “bulbo”,  $a_0$  (que es mayor que el radio de la inyección de huecos  $a_p$ ), dependiendo de si se tiene en cuenta una permeabilidad según una cavidad cilíndrica o esférica. Esta estimación se puede hacer considerando la ley de Darcy y el balance de masa de la fase fluida, Uretek-Politecnico di Torino, (2013), Figura 8.



**Figura 8.** Permeabilidad según una cavidad cilíndrica (izquierda) o esférica (derecha).

En los suelos granulares gruesos, la resina puede penetrar en los poros del suelo en el estado líquido, formando un “bulbo” de suelo tratado, cuya forma depende del modo de inyección. Cuando las inyecciones son puntuales, el bulbo alcanza una forma esférica, mientras que en el caso de tratamientos columnar, el “bulbo” se caracteriza por su forma cilíndrica.

En la etapa posterior de la solidificación de la resina, y por lo tanto el “bulbo” de suelo tratado, se expande hasta que se alcanza la condición de equilibrio con el suelo circundante, en la

que la presión de hinchamiento de la resina es igual a la presión de confinamiento radial del terreno.

En los “**suelos granulares**”, como receptores de la inyección de resina Géoplus®, se llegan a constituir mezclas de suelo-resina, “**bulbo de inyección**”, con características mecánicas muy mejoradas. Estas mezclas llegan a constituir verdaderos conglomerados, Figura 9.



**Figura 9.** Mezcla “bulbo” de suelo granular (gravas y arenas)-resina.

Las características mecánicas de estas mezclas de suelos granulares y resina inyectada se han obtenido a partir de ensayos de laboratorio realizados sobre muestras cilíndricas, tomadas in situ de un bloque irregular de unos 50 kg de mezcla suelo-resina.

Se han realizado ensayos de resistencia a la flexión, a la compresión monoaxial y a la tracción. Los resultados se recogen en las tablas 8, 9 y 10.

**Tabla 8.** Resistencia a la flexión de la mezcla suelo granular-resina.

RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (Norma UNI 6133)			
Ensayo N°	Sección (mm)	Densidad kN/m <sup>3</sup>	Resistencia a la flexión MPa
1	96 x 51	1,695	0,56
2	97 x 47	1,635	0,52

**Tabla 9.** Resistencia a la compresión de la mezcla suelo granular-resina.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MONOAXIAL (Norma UNI 6132)			
Ensayo N°	Sección (mm)	Densidad kN/m <sup>3</sup>	Resistencia a la compresión MPa
1	97 x 99	1,490	1,84
2	95 x 89	1,635	1,68

**Tabla 10.** Resistencia a la tracción de la mezcla suelo granular-resina.

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (Norma UNI 6135)			
Ensayo N°	Diámetro (mm)	Densidad kN/m <sup>3</sup>	Resistencia a la tracción MPa
1	74	1,490	1,84
2	74	1,635	1,68

En suelos granulares gruesos (gravas y arenas), en los que la penetración inicial de la resina provoca la formación del bulbo en el suelo, la expansión de la resina, en su fase de solidificación, provoca el aumento del volumen del bulbo con la consiguiente compactación del suelo circundante.

En suelos de grano fino (arenas limosas y limos arcillosos) saturados, o en los que no se forma el bulbo de inyección, la mezcla se propaga dentro de las fracturas que se producen durante la expansión de la resina. La propagación de la fracturación tiene un efecto de rigidez y aumento de la resistencia al cizallamiento en el suelo, llegándose a formar una red de fracturas conectadas entre sí.

## 5.2. Comportamiento en suelos cohesivos.

En el caso de suelos cohesivos y de grano fino (arcillas limosas y arcillas arenosas), la resina no puede penetrar en los poros y, por lo tanto, su expansión provoca la formación de fracturas “claquage”, cuya orientación depende, principalmente, de la anisotropía del terreno y de su estado tensional. La resina se propaga por fracturas, generando variaciones en el estado de la densificación del suelo y cambios significativos en el terreno circundante.

En los suelos cohesivos la expansión de la resina se produce en condiciones no drenadas (ya que los poros no están interconectados), con el aumento de las presiones intersticiales, cuya

disipación se produce en un periodo de tiempo apreciable. En este caso, se producen variaciones del estado tensional en el tiempo, que puede requerir la realización de inyecciones diferidas en el tiempo para alcanzar los objetivos de consolidación propuestos.

La sobrepresión intersticial generada en el suelo por la expansión de la resina es muy difícil de evaluar. Se aplica, generalmente, un análisis en términos de tensiones totales, en la que el suelo se trata como un medio de una sola fase, caracterizado por un criterio de materiales puramente cohesivos. De esta manera, es posible estimar los efectos producidos por las inyecciones en el corto plazo, tanto en términos de variación del estado tensional como en términos de desplazamientos inducidos en el terreno.

En los **“suelos cohesivos”**, como receptores de la inyección de resina Géoplus®, se llegan a producir ramificaciones reticuladas, propagándose por fractura “claquage” debido a la presión de hinchamiento de la resina, Figura 10.



**Figura 10.** Rotura “claquage” de suelo cohesivo (arcillas)-resina

Se llega a observar en estos suelos cohesivos un fenómeno de penetración de 1 a 3 mm en la interfaz grietas-resina. La resina es capaz de penetrar a través de grietas de tan sólo 0,1 mm en suelos arcillosos, Buzzi et al., (2008).

### 5.3. Interacción suelo - resina.

La resina de poliuretano expandido Géoplus® presenta un comportamiento diferente en función de la granulometría (tamaño de la partícula) del suelo en el que se inyecta. En consecuencia se pueden dar dos tipos de consolidación; en condiciones drenadas “suelos granulares” y en condiciones no drenadas “suelos cohesivos”.

El proyecto realizado dentro del convenio de investigación Uretek-Politecnico di Torino, para el “Estudio teórico/experimental sobre la interacción de la inyecciones de la resina expandente con el suelo tratado y para la caracterización de los trabajos de consolidación con la tecnología Uretek Deep Injections® realizados con el fin de mitigar los efectos inducidos por la acción

sísmica”, en 2013, se ha basado en el análisis del comportamiento de las resinas de poliuretano expandido en suelos bajo dos enfoques diferentes, para suelos granulares (teoría de la cavidad expandida) y para suelos cohesivos (concepto relativo a la fracturación en medios elásticos), a partir de los resultados obtenidos en una serie de pruebas de inyección en laboratorio.

Con el fin de evaluar esta diferencia de comportamiento, se llevaron a cabo una serie ensayos de inyección en dos muestras con diferentes tipos de suelo:

- a) Suelo granular (arena seca grano grueso, sin compactar).
- b) Suelo cohesivo (arcilla compactada).

Las muestras se prepararon en moldes de acero, de 50 cm de altura y 27,5 cm de diámetro. Cada molde se rellenó con el tipo de suelo a ensayar, granular o cohesivo, dejando un espacio libre en la parte superior del molde de, aproximadamente, 3 cm de altura, con el fin de evitar llegar a altas presiones dentro de la muestra, una vez cerrada la parte superior del molde, debido a la capacidad de hinchamiento de la resina y el grado de confinamiento de la muestra dentro del molde.

En cada molde se inyectaron, a 15 cm de profundidad de la parte superior del molde, 4 kg de resina Geoplus®. La inyección se llevó a cabo en varias fases repetitivas, durante 2 a 4 segundos cada fase, con un intervalo de 2 segundos entre fases.

Los resultados de esta fase experimental, sobre la interacción de la inyección de la resina de poliuretano expandido Geoplus® con las muestras tratadas, son los siguientes:

### 5.3.1. Interacción suelo granular - resina.

Finalizada la inyección se aprecia, en la base inferior del molde y a partir de cierta profundidad, una vez eliminada del molde la muestra de suelo granular, un “bulbo” constituido por una mezcla de arena – resina, Figura 11.



**Figura 11.** Base inferior del molde, donde se aprecia el “bulbo” de arena- resina.

La posterior extracción del bulbo arena – resina, permite observar la presencia, en la parte superior del molde, de un tapón de resina que ocupa el espacio (3 cm) que se dejó libre durante la

preparación de la muestra. La longitud del bulbo es de unos 30 cm, en comparación con los 50 cm de longitud del molde, Figuras 12 y 13.



**Figura 12.** Dimensiones del “bulbo” de arena- resina y el tapón de resina.



**Figura 13.** Bulbo de arena-resina extraído del molde.

El bulbo de arena-resina se cortó en dos secciones transversales, con una sierra circular, con el fin de observar la distribución interna de la resina. Una sección en el punto de inyección y otra en el tramo final de la inyección, Figura 14.



**Figura 14.** Bulbo con las dos secciones transversales realizadas.

En la Figura 15, se observan las dos secciones transversales realizadas, en las que se evidencia la penetración de la resina en los granos de arena, formando un verdadero conglomerado.



a)



b)

**Figura 15.** a) Sección transversal del bulbo, en el punto de inyección, b) Sección transversal del bulbo en el tramo final de la inyección.

Esta observación permite constatar que, en suelos granulares, la penetración de la resina en los granos de arena forma un “bulbo” que se expande compactando el terreno circundante hasta que se solidifica.

### 5.3.2. Interacción suelo cohesivo - resina.

Durante la inyección de la resina en el suelo cohesivo, se observó, en la base inferior del molde, la expulsión de agua, lo que demuestra que la expansión de la resina provoca la formación de sobrepresión intersticial en el terreno comprimido dentro del molde.

Finalizada la inyección, se detectó, en la parte superior del molde, la presencia de un tapón de resina en el espacio que se dejó libre cuando se preparó la muestra. En la base inferior del molde, se detectó la presencia de dos fracturas en la muestra de arcilla compactada, dentro de las cuales se ha propagado la resina, Figura 16.



**Figura 16.** Base inferior del molde, donde se aprecia las dos fracturas rellenas de resina en la arcilla compactada.

Una vez eliminada del molde la muestra de arcilla compactada, se observa el acoplamiento de dos fracturas principales, Figura 17, a partir del punto de inyección, en el que la resina se ha extendido a lo largo de la altura disponible de muestra, alcanzando en parte las paredes laterales del molde.



**Figura 17.** Base inferior del molde, donde se aprecia la resina solidificada dentro de las dos fracturas generadas en la arcilla compactada.

Los resultados de estos ensayos experimentales permiten concluir lo siguiente:

- En suelos granulares (arenas y gravas), la formación del “bulbo” aparece después de la penetración de la resina, en fase líquida, en los granos del suelo, seguida de una fase de

expansión durante la solidificación de la resina. El modelo de expansión del “bulbo” se fundamenta en la teoría de la expansión de una cavidad (esférica o cilíndrica) dentro de un medio elasto-plástico, en condiciones drenadas, propuesta por Yu y Houlsby (1991).

- En suelos cohesivos (arcillas), las fracturas que se producen en la arcilla se basan en el modelo de fracturación en un medio elástico-plástico puramente cohesivo, en condiciones no drenadas. Con este modelo teórico es difícil de predecir el número, dirección y extensión de las fracturas generadas durante la inyección en este tipo de suelo.

### 5.3.2.1. Reducción de la permeabilidad.

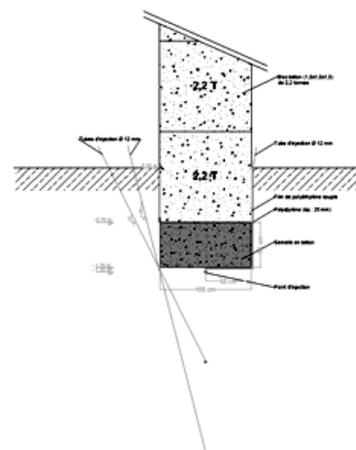
Ensayos realizados por Buzzi et al., 2010, demostraron que la inyección de resina de poliuretano expandido Géoplus® puede reducir significativamente la permeabilidad de un suelo arcilloso. Estos resultados se han confirmado con un ensayo de campo, realizado en un emplazamiento ubicado en Sully-sur-Loire, Francia, por Faure y Orsetti, en 2014.

El terreno donde se realizó el ensayo estaba conformado por una alternancia de arenas arcillosas (Formación 1), más o menos gruesas, y arcillas (Formación 2), con estratificación lentejonar oblicua.

Conceptualmente el ensayo se fundamenta en la reducción de la porosidad efectiva (poros interconectados en suelos granulares y fisuras en suelos cohesivos), mediante la inyección de resina de poliuretano de baja presión con muy alto poder expansivo, Géoplus®. Bajo el efecto de la expansión de la resina, el suelo se comprime, densificando su textura como resultado de la disminución de la proporción de huecos en el volumen de suelo y por lo tanto su porosidad.

Los fenómenos de desecación y rehidratación de las arcillas inciden en el comportamiento de terreno donde se puede cimentar un edificio, provocando asentamientos o hinchamientos. Estos fenómenos pueden verse limitados por la disminución de la permeabilidad del suelo de naturaleza cohesiva.

El dispositivo para la realización del ensayo consistió en la construcción de una estructura de hormigón temporal de 5,0 m de largo y 1,0 m de ancho. Esta estructura se cimentó sobre una base de hormigón armado, a la cota -1,2 m, sobre la cual se colocaron 20 bloques de hormigón de 2,2 toneladas cada uno, simulando la carga de un edificio, Figura 18.

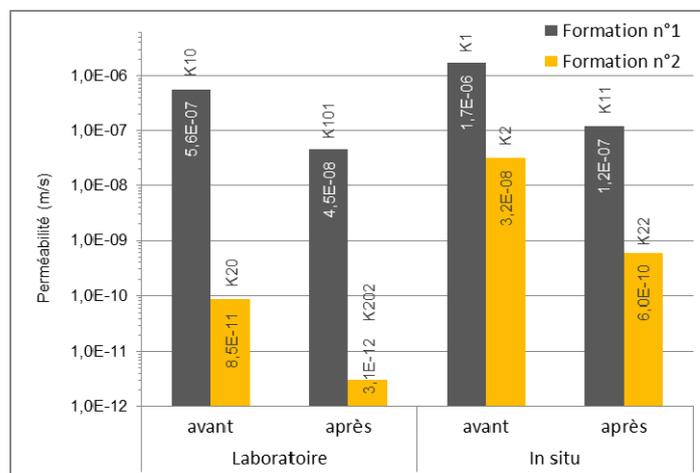


**Figura 18.** Estructura de hormigón y malla de inyección.

Se programó una inyección de resina a distintos niveles, cotas -1,3 m, -2,3 m, -3,3 m. Con esta disposición, las inyecciones afectaban a todo el espesor de las arenas arcillosas (Formación 1) y arcillas (Formación 2), afectando al bulbo de deformación de la cimentación. Cada nivel incluye 12 puntos distribuidos sobre toda la longitud de cimentación y separados 0,45 m, Figura XX.

El objetivo del ensayo de campo era comprobar el efecto de la inyección de la resina Géoplus® en la permeabilidad de los suelos arcillosos descritos, utilizando la tecnología Urettek Deep Injections®.

Los resultados obtenidos, tanto de campo como de laboratorio, permiten confirmar que la tecnología Urettek Deep Injections® mejora de las propiedades mecánicas de los suelos areno arcillosos y arcillosos y está acompañada de una reducción significativa de la permeabilidad del suelo, (Faure N., y Orsetti, V., 2015), Figura 19.



**Figura 19.** Permeabilidades de las formaciones 1 y 2, antes y después de la inyección.

En las arenas arcillosas, Formación 1, con valores medios de permeabilidad de  $5,6 \cdot 10^{-7}$  m/s, la disminución de los factores de permeabilidad, determinada en el laboratorio e “in situ”, son semejantes, con valores respectivos del 12,5 y 14%, respectivamente.

En las arcillas, Formación 2, el valor inicial de la permeabilidad medida en laboratorio es muy bajo,  $8,5 \cdot 10^{-11}$  m/s, con un valor próximo al rango de determinación del método analítico, por lo que se puede desestimar el factor de reducción obtenido (27%). En los resultados obtenidos “in situ”, el factor de reducción de la permeabilidad en suelos arcillosos es del orden del 50%.

Este factor de reducción está de acuerdo con los resultados obtenidos por Buzzi et al. (2010), donde los factores de reducción de la permeabilidad en suelos de comportamiento cohesivo, están entre el 40 y el 55%.

## 6. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA INYECCIÓN PROFUNDA EN EL TERRENO DE LA RESINA GEOPLUS®.

La inyección profunda en el terreno con resina de poliuretano expandido Geoplus®, está experimentando un auge en su utilización en las intervenciones para la mejora de las propiedades mecánicas del terreno y en la recuperación de los asientos, totales o diferenciales, de las cimentaciones superficiales.

El principio de la tecnología Uretek Deep Injections®, se basa en la inyección en el terreno, a diferentes profundidades, de un cierto volumen de resina Geoplus®, la cual expande, englobando, por impregnación “difusión”, o rellenando, por fracturación “claquage”, el terreno circundante a la inyección. La expansión viene acompañada de una reducción de la presión de hinchamiento y del aumento de la tensión media de confinamiento. El proceso se detiene al llegar a la presión de equilibrio.

La resina utilizada en la inyección, es una resina de poliuretano expandido especial de última generación, Geoplus®, marca registrada por Uretek, que se obtiene a partir de una mezcla de dos componentes, esencialmente polioles e isocianatos, denominados Geoplus® A y Geoplus® B.

La resina Geoplus® penetra en el terreno a tratar, aumentando de volumen y comprimiendo el suelo en todas las direcciones, expansión radial, favoreciendo las vías que ofrecen menor resistencia. La expansión de la resina continúa hasta que el terreno impide una compresión radial suplementaria. En ese momento, la única posibilidad de expansión se traduce en un desplazamiento del terreno hacia arriba.

La inyección continúa en cada punto hasta la observación de un principio de levantamiento de la estructura. Cuando se observe este principio de levantamiento, significa que la acción consolidante del terreno se está dirigiendo hacia arriba y que esta es la dirección que opone menor resistencia, mientras alrededor el terreno tiene resistencias superiores respecto a la disminución de carga de la estructura. Esto demuestra que el suelo de cimentación ha sido suficientemente compactado para resistir, no solamente al aumento de cargas estáticas, sino también a las que se desarrollan con el levantamiento.

### 6.1. Diseño de la inyección.

Para el diseño de la inyección profunda en el terreno de la resina Geoplus®, tanto en suelos granulares como cohesivos, Uretek ha desarrollado, en colaboración con la Universidad de Padua, un modelo específico de cálculo denominado (SIMS).

Este modelo se basa en la teoría de la expansión de la cavidad, la cual considera que una porción del volumen de la resina expandida inyectada, además de ocupar la cavidad de radio "a", penetra en la zona plástica del terreno en un porcentaje volumétrico del 30 % (resina/terreno = 0,3). Esta penetración de la resina en la zona plástica varía dependiendo de las características del terreno inyectado, Dei Svaldi A., Favaretti M., Pasquetto A., Vinco G., (2005).

La aplicación de este modelo, adaptado para la inyección profunda en el terreno de la resina Geoplus®, tanto en condiciones drenadas como no drenadas, ha resultado altamente satisfactorio.

Este modelo no parece del todo eficaz en suelos cohesivos (creación de fracturas “claquage”), parece sí parece realista, desde el punto de vista dimensional, para suelos granulares (formación de bulbo).

La experiencia de Uretek muestra que, en la gran mayoría de los casos, la penetración en el terreno de la resina Geoplus® resulta efectiva para:

- Cimentaciones superficiales o semi-profundas
  - 10 a 30 kg / m<sup>3</sup> en suelos granulares
  - 6 a 20 kg / m<sup>3</sup> en suelos cohesivos
- Soleras
  - 6 a 10 kg / m<sup>3</sup> en todos los suelos
- Pavimentos
  - 4,6 kg / m<sup>3</sup> en todos los suelos.

Los modelos analíticos permiten una mejor comprensión de los diferentes procesos de difusión de la resina Geoplus® en el terreno, independientemente de sus características, mientras que el estudio de la disipación de la presión intersticial y de la duración del proceso de consolidación debe basarse en modelos digitales.

Se puede concluir que, para evaluar con precisión el proceso de consolidación y movimiento de la resina en el terreno, es necesario realizar un análisis numérico con elementos finitos, Dominijanni A., y Manassero M., (2014).

## 6.2. Dimensionamiento de la inyección.

El dimensionamiento de la inyección profunda de la resina Geoplus® está directamente relacionado con el modelo de distribución de la resina en el terreno y consecuentemente con la naturaleza y características del terreno inyectado. Los mecanismos de propagación de la resina Geoplus® han sido descritos y modelizados por Dominijanni A., y Manassero M., (2014).

- **Inyección en suelos granulares (condiciones drenadas).**

La propagación en suelos granulares gruesos (grava y arena) se basa en la teoría de la cavidad expandida en medio elasto-plástico, en condiciones “drenadas”, Uretek-Politecnico di Torino, (2013). En estos suelos la resina puede penetrar en los poros en el estado líquido, formando un “bulbo” de suelo tratado, cuya forma depende del modo de inyección. Cuando las inyecciones son puntuales, el bulbo alcanza una forma “esférica”, mientras que en el caso de tratamientos columnares, el bulbo se caracteriza por su forma “cilíndrica”.

- **Inyección en suelos cohesivos (condiciones no drenadas).**

En el caso de suelos cohesivos la resina no puede penetrar en los poros (no se puede formar el “bulbo”) y, por lo tanto, su expansión provoca la formación de fracturas “claquage”, cuya orientación depende, principalmente, de la anisotropía del terreno y de su estado tensional.

La resina se propaga por fracturas, generando variaciones en el estado de la densificación del suelo y cambios significativos en el terreno circundante. En este caso el modelo de cálculo se determina basándose en el grado de la consolidación del suelo, suelo normalmente consolidado y sobre consolidado.

El dimensionamiento de la inyección se realiza siguiendo la siguiente metodología.

### 6.2.1. Estudios previos.

- **Investigación geotécnica**

Para la realización del proyecto de inyección se requiere llevar a cabo una visita al lugar de la intervención y contar con un estudio geotécnico. El estudio debe incluir:

- Origen del terreno existente, antrópico o natural.
- La naturaleza, granular o cohesiva, y características mecánicas del terreno existente.
- El contenido de materia orgánica.
- La configuración de la cimentación de la estructura.

La capacidad de propagación de la resina Géoplus®, permite aplicar la tecnología Uretek Deep Injections® en diferentes tipos de terreno, roca y suelo, teniendo siempre en cuenta los criterios establecidos para su utilización.

La presencia de agua en el terreno no es un obstáculo para la Uretek Deep Injections®, que se pueden realizar tanto en terreno saturado como insaturado.

- **Estudio Estructural**

La consolidación del terreno debajo de los cimientos o de soleras, no confiere rigidez adicional a la cimentación de la estructura que a veces requiere de trabajos complementarios.

En el caso de existencia de daños estructurales que puedan conducir a riesgos en la estabilidad de la estructura, una empresa especializada debe decidir sobre la labor de refuerzo que se tendría que realizar en la estructura, además de las inyecciones. Este tipo de daños, sin embargo, no descarta la posibilidad de tratar el terreno con la tecnología Uretek Deep Injections®.

- **Zonas de intervención**

Las zonas de tratamiento se definen en función de la distribución de los daños y de las características del terreno. La tecnología Uretek Deep Injections® no provoca la creación de puntos duros en el terreno, por lo que se pueden realizar tratamientos parciales. En consecuencia, es posible limitar el tratamiento a aquellas partes de la cimentación que han sufrido asentos.

- **Servicios enterrados**

Antes de cada intervención es necesario conocer la ubicación y naturaleza de los servicios enterrados (redes de abastecimiento, saneamiento, telefonía, etc.) en las zonas a tratar. En consecuencia, se debe realizar una localización previa de estos servicios. La distancia mínima

entre un servicio enterrado y un punto de inyección debe ser de 40 cm. No obstante, el riesgo de dañar estos servicios existe, por lo cual es necesario tener prevista su reparación. Si existe alguna red por la que se distribuyen productos peligrosos, esta deberá estar cerrada y purgada antes del tratamiento. La red no podrá ser puesta en servicio sin que la verifique un especialista.

### 6.2.2. Replanteo de la inyección.

El tratamiento se realiza en la zona de influencia de la cimentación (bulbo de Boussinesq), o a un “nivel” determinado, establecido de acuerdo con los resultados del estudio geotécnico. Los puntos de inyección se distribuyen en los distintos tipos de cimentaciones superficiales, zapatas aisladas y zapatas corridas, soleras, losas, así como las cimentaciones semiprofundas (pozos de cimentación).

#### – Cimentaciones aisladas

Se consideran en este tipo de cimentaciones, las zapatas aisladas y las cimentaciones semiprofundas, tanto cuadradas como rectangulares. La implantación de los puntos de inyección depende de las dimensiones de la cimentación.

- Zapata cuadrada  $B \leq 1,0$  m. La inyección se realiza en un único punto en el centro de la zapata.
- Zapata cuadrada  $1,0 \leq B \leq 1,5$  m. La inyección se realiza en 4 puntos situados en cada una de las esquinas de la zapata, a cierta distancia del borde de la cimentación.
- Zapata cuadrada  $1,5 \leq B \leq 2,0$  m. La inyección se realiza en 5 puntos, 4 en cada esquina de la zapata, a cierta distancia de los bordes de la cimentación, y un punto en el centro de la zapata.

Se trata de configuraciones clásicas que tendrán que ser adaptadas a las condiciones especiales de las estructuras de cimentación.

En zapatas cuadradas de  $B > 2,0$  m, la inyección se organiza de la misma forma que para una losa, pero con una malla más estrecha (lado  $\leq 0,9$  m). Los puntos de inyección periféricos deben colocarse a 0,45 m de los bordes de la cimentación.

En zapatas aisladas rectangulares, la implantación se constituye por líneas de puntos de inyección con separación  $e \leq 0,90$  m. Los puntos de inyección se colocan escalonados cada 0,90 m. Los puntos de inyección periféricos deben colocarse a 0,45 m de los bordes de la cimentación.

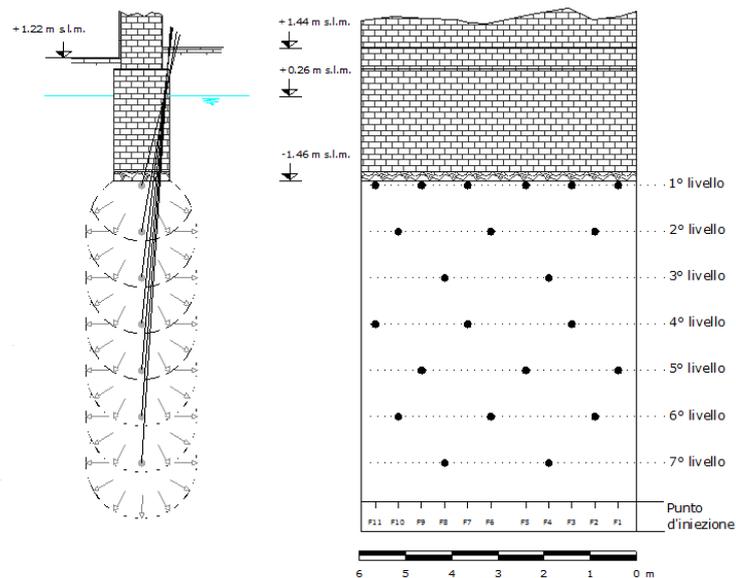
El número de niveles de inyección, en la vertical, se establece en función de la profundidad a tratar a partir del nivel de referencia de la interfaz asientos/cimentación. Los niveles se suelen separar alrededor de 1,0 m.

#### – Zapatas corridas

En este tipo de cimentación la implantación estándar es de, un punto de inyección entre 0,45 y 0,90 m, dependiendo de la inercia de la estructura. Los puntos se disponen a lo largo del eje de la

zapata corrida. Si el ancho de la zapata es mayor de 1,0 m ( $B > 1,0$  m), los puntos de inyección se duplican.

El número de niveles de inyección, en la vertical, se establece en función de la profundidad a tratar a partir del nivel de referencia del bulbo de deformación del terreno afectado por la cimentación. Los niveles se suelen separar una profundidad de 1,0 m, Figura 20.

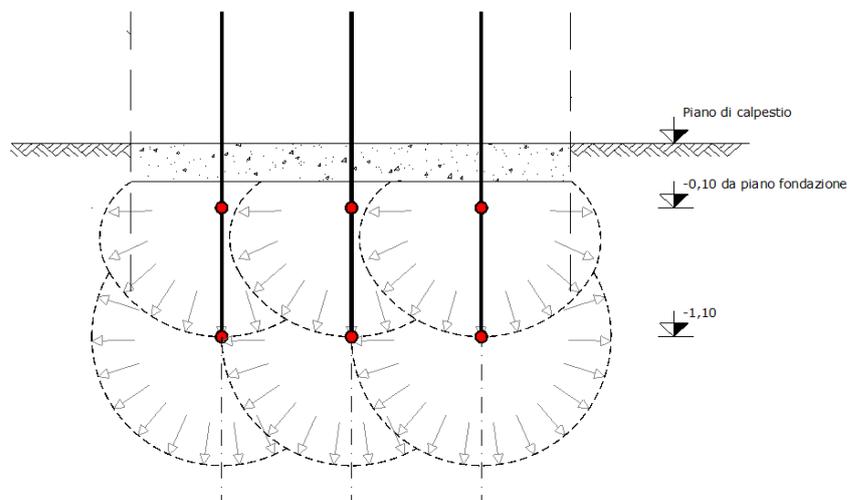


**Figura 20.** Implantación en una zapata corrida, con siete niveles de inyección.

– **Soleras**

La malla y los niveles de inyección se establecen en base a los objetivos propuestos, a partir del estudio geotécnico.

La implantación habitual de los puntos de inyección es una malla de 1,0 x 1,0 m, sin exceder, normalmente, 1,5 x 1,5 m, Figura 21.



**Figura 21.** Malla con dos niveles de inyección en una solera de hormigón.

El número de niveles de inyección, en la vertical, se establece en función de la profundidad a tratar a partir del nivel de referencia de la interfaz asientos/solera. Los niveles se suelen separar una profundidad de 1,0 m.

#### – Losas

Se consideran en este caso las estructuras tipo losa de hormigón armado.

La malla y los niveles de inyección se establecen en base a los objetivos propuestos, a partir del estudio geotécnico.

La implantación habitual de los puntos de inyección es una malla de 1,0 x 1,0 m, a 2,0 x 2,0 m, dependiendo de la rigidez de la losa, Figura 22.



**Figura XX.** Malla con los tubos de inyección en una losa.

El número de niveles de inyección, en la vertical, se establece en función de la profundidad a tratar a partir del nivel de referencia de la interfaz asientos/losa. Los niveles se suelen separar una profundidad de 1,0 m.

#### **6.2.3. Ejecución de la inyección.**

La inyección se realiza con la tecnología Uretek Deep Injections®. Las fases de ejecución incluidas en el protocolo de ejecución son: perforación, instalación de los tubos de inyección y la inyección de la resina con control de los movimientos de la estructura con nivel láser.

#### – Perforación

La perforación se realiza utilizando taladros manuales eléctricos a rotoperusión. Este sistema de perforación no transmite vibraciones a la estructura y permite la intervención en condiciones de difícil acceso (altura inferior a 1,50 m, y espacio de maniobra de 1 m<sup>2</sup>).

Las perforaciones tienen un diámetro de entre 12 y 26 mm y se realizan con barrenas helicoidales de diferentes longitudes que permiten alcanzar profundidades de hasta 2,40 m. para mayores profundidades se utilizan extensiones de las barrenas.

Para intervenciones en pavimentos, las perforaciones se pueden realizar con diámetro 6 mm, lo que permite evitar daños en las losas del pavimento.

La profundidad máxima de la inyección siguiendo este procedimiento está limitada a 8,0 m, a partir de la plataforma de trabajo.

La perforación de los taladros se realiza atravesando la cimentación existente, o el pavimento, hasta alcanzar, con precisión, el nivel de terreno a tratar.

La inclinación de los taladros, cuando sea necesario, se establece de acuerdo con la anchura y la profundidad de la cimentación de manera que los puntos de inyección se mantengan en un plano vertical que pasa por el eje la estructura de cimentación.

Teniendo en cuenta el radio de bulbo del terreno tratado bajo la cimentación (radio de la zona elástica del orden de 1 m a por volumen de resina inyectada), se considera aceptable una tolerancia de  $\pm 10$  cm de desviación de la perforación, a partir del punto teórico de la inyección. Para profundidades mayores de 3 m desde la plataforma de trabajo, esta tolerancia se puede aumentar siempre que se compense con un aumento del radio del volumen del terreno mejorado, lo que implica un aumento en la cantidad de resina inyectada.

En el caso de que la cimentación tenga una anchura mayor que el radio de la zona elástica ( $> 1$  m), la cantidad de resina inyectada se aumenta, o se duplica los puntos de inyección.

#### – **Instalación de los tubos de inyección**

La colocación de los tubos de inyección se puede hacer a mano o por vibración con equipos eléctricos utilizados a percusión.

Los tubos se fabrican de cobre o de acero, con un diámetro exterior de 6 a 12 mm y un espesor de 1 mm. Llevan instaladas unas válvulas perdidas que evitan la obstrucción de la tubería cuando se instalan en el terreno.

La longitud de los tubos de 6 mm es de 1 m y se utilizan para inyecciones en pavimentos.

La longitud de los tubos de 12 mm es de 5 metros, pudiéndose empalmar, si fuese necesario, para permitir la inyección a profundidades de más de 5,0 m.

La longitud de los tubos de inyección se determina teniendo en cuenta la profundidad teórica de la inyección y la inclinación del tubo con respecto al eje vertical, a partir de la plataforma de trabajo. Se admiten tolerancias en las desviaciones de  $\pm 10$  cm.

Al final de la inyección, el tubo se abandona y no se puede reutilizar.

#### – **Inyección de la resina**

Una vez finalizada la instalación de los tubos comienza la fase de inyección de la resina Geoplus®. La inyección se realiza a través de una cabeza de inyección “pistola de inyección” que se fija en el extremo superior del tubo de inyección colocado.

Los dos componentes de la resina, Geoplus A y GeoplusB, se transportan por separado a la “pistola de inyección”. Los dos componentes se mezclan, a alta presión, en una cámara colocada en la parte trasera de la pistola de inyección, lo que garantiza una perfecta mezcla de los dos componentes, antes de ser introducida como una sola mezcla en el tubo de inyección y posteriormente en el terreno.

La inyección continúa, en cada punto, hasta la observación de un principio de levantamiento de la estructura. El levantamiento es el elemento que permite comprobar, en tiempo real, la eficacia de la inyección.

El procedimiento normal prevé la inyección, punto por punto y para cada nivel, dependiendo de las características geotécnicas del terreno.

En determinadas cimentaciones las inyecciones deben adaptarse a un protocolo específico de inyección. En estos casos la inyección se planifica, para cada nivel, en fases repetitivas en las que se inyectan los puntos primarios, secundarios, terciarios.

## 7. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE LA INYECCIÓN PROFUNDA EN EL TERRENO DE LA RESINA GEOPLUS®.

La resina Geoplus® se inyecta en el terreno en estado líquido. Cuando la resina penetra en el terreno a tratar, aumentando de volumen, comprime el suelo en todas las direcciones privilegiando las vías que ofrecen menor resistencia. Cuando se observa un principio de levantamiento, significa que la acción consolidante se está dirigiendo hacia arriba y que esta es la dirección que opone menor resistencia, mientras alrededor el terreno tiene resistencias superiores respecto a la disminución de carga de la estructura.

La inyección continúa, en cada punto, hasta la observación de un principio de levantamiento de la estructura. El levantamiento es el elemento que permite comprobar, en tiempo real, la eficacia de la inyección.

Para controlar este “levantamiento” en la estructura, se utilizan instrumentos de nivelación láser, con precisión de hasta 0,1 mm, que permiten detectar micro-desplazamientos verticales durante la inyección. Estos instrumentos permiten monitorizar en tiempo real la estructura.

La interrupción o cese de la inyección de resina se determina en base a esta monitorización, la cual permite controlar los levantamientos, evitando movimientos no deseados de la estructura que se está tratando mediante la inyección.

### 7.1. Instrumentación y control de la inyección.

Cada intervención se controla con un nivel láser con el fin de detectar cualquier movimiento vertical de la estructura tratada. La precisión que se consigue es de 0,1 mm.

El dispositivo consta de un nivel laser y varias dianas fijadas a la estructura a tratar. Las dianas detectan las variaciones de levantamiento, con respecto al plano horizontal fijo de referencia establecido por el nivel laser, Figura 23.



**Figura 23.** Nivel láser y dianas fijas en la estructura.

El nivel laser se posiciona a una cierta distancia del punto de inyección, donde no se vea afectado por esta. Cualquier movimiento de la estructura se mide en tiempo real.

La efectividad de la inyección se evidencia con los levantamientos registrados en los sistemas de control.

#### **7.1.1. Control del terreno a inyectar.**

El principio del proceso de intervención y autocontrol se basa, fundamentalmente, en el método de observación. Los procedimientos de autocontrol que realiza Uretek son los siguientes:

##### **a) Antes de la inyección.**

El reconocimiento se realiza, en la zona de tratamiento, hasta la profundidad donde la aparezca terreno de reconocida capacidad portante. Este reconocimiento permite programar la inyección, adaptándose a las características específicas del terreno.

Estas características se pueden obtener realizando cualquier tipo de ensayo o prueba “in situ”, con la condición de que se haga el ensayo con el mismo equipo, antes y después del tratamiento. Normalmente, estos ensayos se realizan mediante pruebas de penetración dinámica (DP), ya que permiten reconocer el terreno cerca de cualquier cimentación.

- En cimentaciones superficiales. En el caso de cimentación mediante zapatas aisladas o corridas, los ensayos de control se llevan a cabo lo más cerca posible de las mismas.
- En losas. En el caso de losas y soleras, las pruebas el control se realizan en el centro de la celda de inyección.

##### **b) Durante la inyección.**

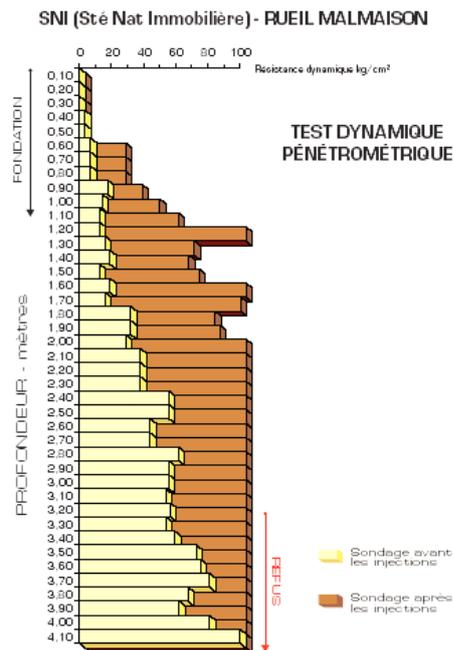
Durante las operaciones de inyección, el consumo de mezcla se mide en cada punto de inyección y se compara con el consumo nominal del proyecto.

La reacción de la estructura tratada es controlada, en tiempo real, mediante el nivel láser y las dianas colocadas sobre la estructura. Este es el autocontrol más importante.

La reacción de estructura indica que la compactación obtenida mediante la inyección profunda de la resina es suficiente. La inyección es detenida, sistemáticamente, en el caso de reacciones imprevistas que puedan dañar a la estructura.

##### **c) Después de la inyección.**

Se realiza un control final para verificar las mejoras obtenidas. Este control se realiza utilizando los mismos ensayos realizados antes de la inyección. En el caso de que los resultados de estos ensayos no sean los previstos, se realizan inyecciones adicionales, Figura 24.



**Figura 24.** Ejemplo de ensayo de penetración dinámica (DP) que muestra la resistencia del terreno antes y después de la inyección.

La mejora de las características mecánicas del terreno conseguidas debajo de la cimentación, mediante la inyección de resina, son estimadas ya que los ensayos de control que se realizan antes y después de la inyección no se realizan, directamente, debajo de la cimentación. En el caso de verificación de asientos de la estructura, hay que realizar ensayos de control adecuados (ensayos presiométricos).

### 7.1.2. Periodo de Observación.

Como cualquier intervención en la cimentación de una estructura existente, es necesario respetar un periodo de observación de un año antes de la reanudación de los trabajos de rehabilitación. En el caso de existir movimientos residuales, se realizan inyecciones adicionales como parte de la intervención inicial.

## 7.2. Control de productos y equipos de inyección.

Uretek tiene un sistema de calidad, que proporciona un control de todos los productos y equipos utilizados en su proceso de producción.

### 7.2.1. Control de productos.

El protocolo de suministro de la resina integra el control de calidad (ensayos realizados por el proveedor de la resina para validar la correcta reacción de la mezcla de los dos componentes) de cada lote de resina entregado a Uretek.

Cada lote de material va acompañado de una certificación, un tapón seguridad y una etiqueta con el nombre el producto y las fechas de caducidad.

El fabricante y proveedor de productos básicos de la resina Geoplus® tiene las certificaciones siguientes:

- ISO 9001
- ISO 14001
- ISO 50001
- ISO 17020
- ISO 17025

### **7.2.2. Control de equipos de inyección.**

El control de los equipos y material de inyección son diarios, en lo referente a los inyectores, incluida la pistola de inyección, y la calidad de la resina Geoplus®.

Estos controles se llevan a cabo al comienzo del día. Incluyen, la verificación de la presión y la temperatura del sistema de inyección, así como un control visual de la polimerización al aire libre de la resina (color, textura, velocidad de polimerización, ausencia de residuos) antes de su puesta en obra.

El control del generador situado en el camión taller, así como el equipo específico para la mezcla de los componentes de la resina Geoplus® (dosificación, temperatura, etc.) se realiza al menos una vez al mes. El resto del material es totalmente verificado por lo menos una vez al año.

Sistema de calidad de Uretek también prevé, en su caso, procedimientos para la gestión de las no conformidades.

## 8. ACTUACIONES CON LA TECNOLOGÍA DE INYECCIÓN PROFUNDA EN EL TERRENO DE LA RESINA GEOPLUS®.

Se exponen en este apartado algunas de las actuaciones que se han llevado a cabo en Europa mediante la inyección profunda de resina de poliuretano expandido, tecnología Uretek Deep Injections®, en las que se han conseguido resultados muy satisfactorios.

Desde su creación en 1990 y hasta nuestros días, el Grupo Uretek ha realizado un significativo número de intervenciones. Enumerarlas todas resultaría una labor excesiva que se escapa a los objetivos que se pretenden alcanzar en este documento.

En este sentido, resulta más enriquecedor llamar la atención sobre aquellas actuaciones realizadas que, por ser edificaciones con un valor artístico e histórico significativo, forman parte del patrimonio cultural de cada país o, que, por la dificultad del tratamiento, son las más singulares.

Para cada una de estas actuaciones singulares que se proponen se ha realizado una descripción de la edificación y sus patologías, una descripción de las características del terreno en donde está apoyada y la intervención de consolidación realizada. Se concluye con una ficha técnica en la que se refleja los aspectos más destacados de la actuación de Uretek.

Con este proceder se valora la labor de consolidación realizada por la tecnología Uretek Deep Injections®, así como el sistema operativo, la técnica no invasiva y las características mecánicas del material inyectado que se mantienen inalteradas con el paso del tiempo.

### 8.1. Aspectos técnicos considerados en cada actuación.

El enorme patrimonio histórico, artístico y arquitectónico existente en la mayoría de los países europeos, hace que en estos territorios se registre un incremento de casos en los que los arquitectos e ingenieros se enfrenten con actuaciones en los que sus edificios históricos y otras estructuras singulares manifiestan problemas de fisuración, patología que, en ocasiones, evoluciona con el tiempo hasta hacerse preocupante para su conservación.

Las causas de estas patologías pueden estar motivadas, primordialmente, por la presencia de asientos diferenciales, que en ocasiones comprometen la conservación del edificio para las generaciones futuras. Estos asientos son, por lo general, causados por tres factores:

- a) Por variaciones en la distribución de las cargas permanentes aplicadas, que fundamentalmente son generados por obras de ampliaciones o modificaciones que se han llevado a cabo en la estructura de la edificación.
- b) Por variaciones en las propiedades mecánicas de los suelos en donde se apoya la cimentación y que desencadena una nueva distribución de tensiones. En este sentido este nuevo campo tensional puede estar motivado por:

- Fugas o roturas de conducciones de agua que afectan al terreno de cimentación.
- Ascenso o descensos del nivel freático de la zona.
- Degradación física y química de la cimentación.

c) Por la combinación de ambas causas.

No obstante, en cualquiera de los casos la actuación a realizar deberá ser aquella encaminada a que la interacción suelo-estructura sea capaz de adaptarse al nuevo escenario tensional. Dicha adaptación podrá conseguirse mediante consolidación del suelo y consiguiente mejora de sus características mecánicas.

Las características mecánicas del terreno de cimentación pueden mejorarse utilizando la tecnología Uretek Deep Injections®, que utiliza la inyección en el terreno, a diferentes profundidades, de la resina de poliuretano expandido Geoplus®, de elevada presión expansiva.

Los métodos de intervención son relativamente sencillos y no precisan de excavaciones invasivas, o de problemáticos sistemas de conexión para reforzar tanto las cimentaciones existentes como las nuevas.

Como consecuencia de la expansión de la resina Geoplus® en el interior del volumen del terreno tratado, es posible restablecer el contacto de la interfaz terreno-cimiento a diferentes profundidades y en aquellas zonas en donde los valores de la tensión admisible resulten bajos. De esta manera se obtiene una mejor distribución de las cargas y una consiguiente limitación de los picos de tensión.

La tecnología Uretek Deep Injections® se lleva a cabo mediante perforaciones de pequeño diámetro, causando la mínima alteración a las estructuras y al terreno suprayacente, resolviendo cualquier problema relacionado con la capacidad de carga de los suelos bajo cimentación. La consolidación del terreno tratado se desarrolla en dirección vertical, o sub-vertical, gracias a una sucesión de inyecciones a baja presión, ejecutadas bajo la cimentación, con una resina de rápida expansión.

## 8.2. Actuaciones en edificios históricos singulares.

A título divulgativo, se exponen algunas de las actuaciones más relevantes en las que se ha realizado, con la tecnología Uretek Deep Injections®, la consolidación del terreno de cimentación para la conservación del patrimonio histórico, artístico y arquitectónico.

Estas actuaciones son las siguientes:

- Iglesia de San Bartolomé y San Gaudencio. Borgolavezzaro (Italia).
- Palacio Punta della Dogana. Venecia (Italia).
- Palacio en calle Joseph de Maistre. Montmartre, París (Francia).
- Torre medieval Città di Castello (Italia).
- Colegio Cardenal Espinosa. Martín Muñoz de las Posadas, Segovia (España).
- Edificio en calle Sánchez Vera. Cuenca (España).
- Capilla Saint Nicodeme. Bretaña (Francia).
- Bodegas La Tribuna y El Molino, Beam Global. Jerez de la Frontera (España).

### 8.2.1. Iglesia de San Bartolomé y San Gaudencio. Borgolavezzaro (Italia).

#### – Historia de la edificación

Fue diseñada por el arquitecto Alessandro Antonelli, profesor en la Academia Albertina de Turín desde 1836 hasta 1857 y autor de proyectos emblemáticos entre los que destacan: la Mole Antonelliana en Turín (1863), la Cúpula de San Gaudencio en Novara (1841) y la Iglesia de los Santos Bartolomé y Gaudencio en Borgolavezzaro (1852), Figura 25.



**Figura 25.** Iglesia de los santos Bartolomé y Gaudencio en Borgolavezzaro (Italia)

La actual iglesia de Borgolavezzaro dedicada a los santos Bartolomé y Gaudencio constituye uno de los primeros proyectos de bóveda de cañón que apoya sobre un único orden de columnas. Lo que queda de la iglesia original de San Gaudencio es sólo el campanario, el cual se quería derribar por supuestos problemas de estabilidad.

#### – Patología: fisuras y asientos

El análisis de las fisuras representa una fuente muy importante de información sobre el tipo de asientos que han tenido lugar.

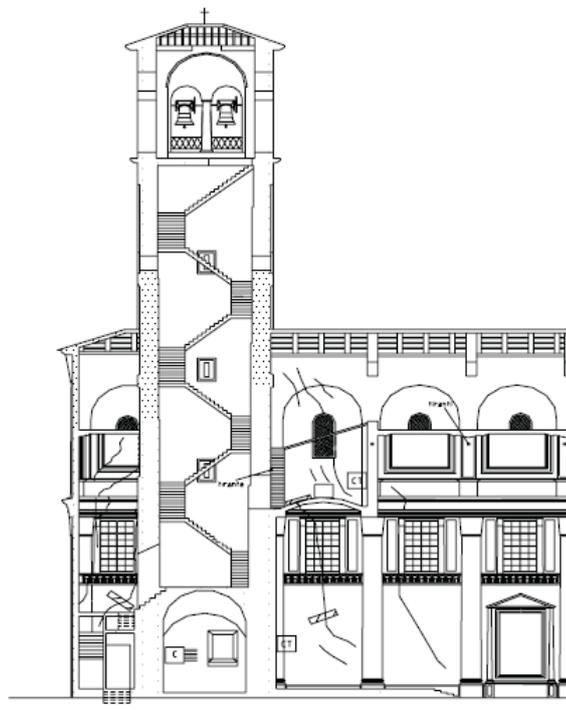
El tipo de fisuras, la forma, la inclinación de las mismas y la evolución en el tiempo de las lesiones que se han manifestado en los muros portantes, muros medianeros y en el pavimento, presentan unos datos importantes que contribuyen a una interpretación muy detallada de las causas y de la dinámica de los asientos.

En 1904 se realizó un informe encaminado a la determinación de las patologías existentes. Este informe concluye que “..... el campanario no está todavía en equilibrio con la capacidad portante del terreno de cimentación, de manera que los asientos continuarán de forma lenta pero

constante. Hasta ahora no se puede decir que este asiento lento sea igual en los cuatro lados de la base ya que los cuatro muros tienen que apoyarse directamente sobre el terreno y no sobre una plataforma homogénea y ancha.”

En 1925 el ingeniero Giuseppe de Ferrari realizó un segundo informe, este concluye que: “...en mi inspección he observado que varias grietas de los muros de la iglesia dependen del campanario y esto hace suponer que se deben a un asiento del campanario”.

Hoy, el edificio presenta varias grietas concentradas en diferentes puntos, sobre todo en la zona de conexión entre el antiguo campanario y la iglesia de más reciente construcción. Todas tienen una evolución subvertical hacia el campanario y disminuyen al alejarse de éste. Se considera que el fenómeno depende de un asiento del campanario, que ha sido mayor con respecto al que ha afectado la parte más reciente de la iglesia, Figura 26.



**Figura 26.** Levantamiento de las fisuras en la sección longitudinal del campanario e iglesia.

El mayor asentamiento vertical del campanario, ocurrido presumiblemente a causa de la ya mencionada condición precaria del sistema suelo-cimiento, de alguna manera ha arrastrado consigo las partes de la estructura más cercanas, siguiendo la línea de menor resistencia: de esta manera se han hendido las partes de enlace entre el campanario y la mampostería perimétrica y las pequeñas bóvedas de las ventanas.

#### – Características geotécnicas del terreno de cimentación y conclusiones

Durante las distintas épocas de su construcción, antes el campanario y luego la nueva iglesia, la condición de estabilidad geotécnica del sistema cimiento-estructura del campanario era precaria ya antes de la construcción de la iglesia, y muy cerca de una condición crítica. Esta circunstancia ya la pusieron de manifiesto en los dictámenes técnicos de 1904 y 1925.

El comportamiento de del terreno donde se apoya la cimentación es de naturaleza granular, conformado por gravas y arenas con una fracción fina que no supera el 6%. Ante esta naturaleza del terreno, el asiento es una característica más restrictiva que la tensión de hundimiento.

En cuanto al estado de compacidad del suelo, determinado a través de ensayos de penetración estándar (SPT), desde la cota de apoyo de la cimentación de la torre y hasta los 20 metros de profundidad, muestran valores de  $N_{30}$  (SPT) que oscilan entre 8 a 14, lo que indica una compacidad catalogable como floja a media (Código Técnico de la Edificación: DB SE-C 2006).

A este concionante habría que añadirle la posición del nivel freático, que se sitúa a 2,00 metros de profundidad desde la superficie del terreno y que fluctúa, significativamente, a lo largo del año a causa de la inundación de los cultivos arroceros existentes en la zona.

De lo anteriormente expuesto, induce a pensar que las causas de los asientos no son por motivos estructurales sino geotécnicos, ya que la combinación del bajo estado de consolidación del terreno unido a la posición y fluctuación del nivel freático, son causas fundamentales para desencadenar el cuadro patológico detectado.

#### – **Intervención de consolidación**

Una vez evaluadas las causas de los asientos, se tomó la decisión de intervenir en el volumen de terreno subyacente a los cimientos del campanario, utilizando la tecnología Uretek Deep Injections®.

La inyección profunda de la resina de poliuretano expandido Geoplus®, permite desarrollar su acción expansiva en dirección vertical, o sub-vertical, gracias a una sucesión de inyecciones a baja presión, ejecutadas bajo la cimentación.

#### Descripción de la intervención

La intervención consistió en la inyección en el terreno, a bajas presiones, de resina de elevada capacidad de expansión, obtenida por la mezcla de dos componentes que, por reacción química, provocan un efecto de consolidación, ejerciendo en el terreno tratado una presión de hasta 10 MPa, en un tiempo que oscila entre los 6 a los 10 segundo desde su mezcla.

Los taladros, perforados para la realización dela inyección, tenían un diámetro de 20 mm y una separación entre ejes de taladro comprendido entre los 0,8 a 1,0 metros de distancia. En su ejecución se utilizaron equipos de perforación a rotoperCUSión a lo largo del perímetro del campanario, constituido por asfalto, hormigón armado, suelo, pavimentos, etc.

La disposición de los taladros, a través de los cuales se realizaron las inyecciones, fueron replanteados en los alrededores de la mampostería portante, ya que era la única forma de poder alcanzar con precisión el terreno subyacente, Figura 27.

La resina Geoplus® fue inyectada a media y a baja presión, ya que ésta se expande donde encuentra la menor resistencia ofrecida por terreno y gracias a su fuerte aumento volumétrico, compacta y consolida el terreno de cimentación mezclándose con éste hasta constituir un conglomerado con características de elevada resistencia a los esfuerzos de compresión y de corte.

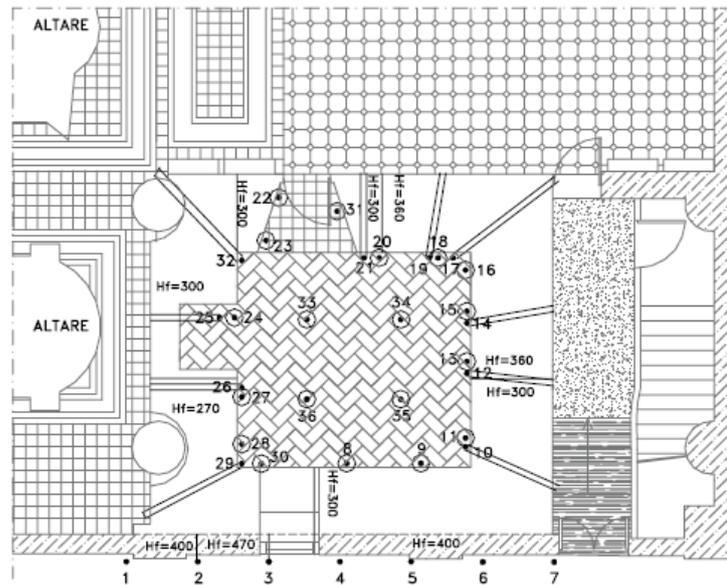


Figura 27. Planta de situación de los taladros destinados a las inyecciones.

En este caso se realizaron inyecciones de tipo columnar, con velocidad de ascenso controlada por extractor, a partir de -7,50 m de profundidad, contados desde el nivel del terreno hasta el nivel de las cimentaciones, o hasta la primera señal de levantamiento,  $\approx 1$  mm.

La cantidad total de resina inyectada fue de 1750 kg, que equivale a unos 14 kg por metro de columna. Considerando el volumen total de sustrato interesado por la intervención,  $150 \text{ m}^3$ , se puede determinar el índice de relleno  $\eta$  en,  $11,7 \text{ kg/m}^3$ .

En el interior de la celda del campanario, por cada taladro vertical se ha asociado un taladro adicional en oblicuo con una inclinación que permita atravesar el muro de cimentación y cubrir en profundidad toda el área prevista por el proyecto de intervención, Figura 28.

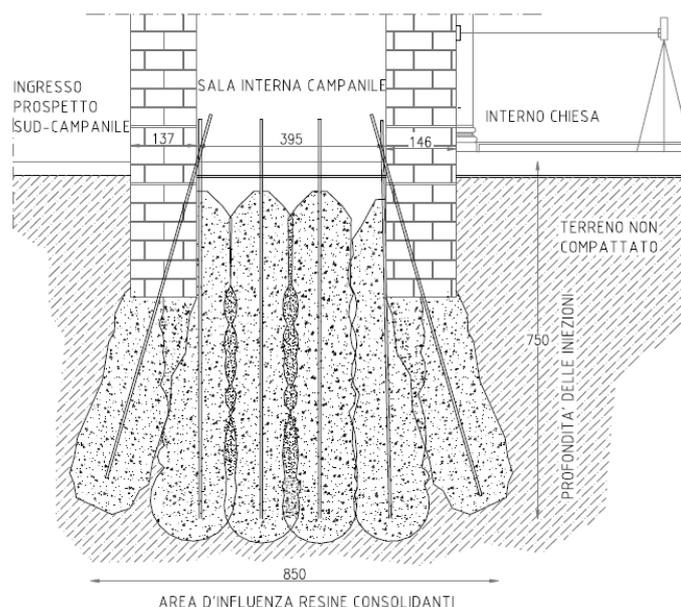


Figura 28. Perfil y secciones de los taladros de inyección y zonas tratadas.

Durante el trabajo se realizó una monitorización de la iglesia con el fin de detectar cualquier movimiento vertical, en tiempo real, de la estructura tratada. El dispositivo de control consta de un nivel laser y varias dianas fijadas a la estructura. Las dianas detectan las variaciones de levantamiento, con respecto al plano horizontal fijo de referencia establecido por el nivel laser.

La intervención se realizó en un total de 7 días del mes de junio de 2003.

### 8.2.2. Palacio Punta della Dogana. Venecia (Italia).

#### – Historia de la edificación

Fue diseñado y construido por el arquitecto Giorgio Massari para la familia Grassi. Se trata de un edificio con una superficie de unos 5.000 m<sup>2</sup>, de forma triangular, que se remonta al siglo XVII, con una fachada de 210 metros sobre el Canal y 75 metros sobre el Campo de la Salute, que corresponderían a la base del triángulo.

Punta della Dogana, la vieja Aduana de Venecia, es una de las edificaciones más emblemáticas de la ciudad de Venecia, situado en la confluencia del Gran Canal con el Canal de la Giudecca y la plaza de San Marcos, Figura 29.



**Figura 29. Palacio Punta della Dogana, Venecia (Italia).**

La estructura principal de la edificación se conforma en 10 paredes de ladrillo, paralelas entre sí y aproximadamente perpendiculares a la bisectriz del ángulo formado por los canales que convergen a la punta. El espesor de los muros de carga varía entre los 0,5 y 2,0 m.

Las paredes de las fachadas, presentan un espesor comprendido entre 0,50 y 0,70 m, incluyendo al revestimiento exterior de piedra caliza.

La cimentación del cuerpo principal del edificio es de mampostería de ladrillo y piedra, sujeta con mortero de cal y pilotes de madera.

### – **Patología: fisuras y asientos**

En Mayo de 2003, durante algunos trabajos de rehabilitación del muro de contención del Gran Canal, el muro de contención y el edificio de la Vieja Aduana, asentaron repentinamente. Estos movimientos han vuelto a abrir viejas lesiones y han formado nuevas grietas en los tabiques, en los muros y en la estructura de las escaleras.

En general, aparecieron grietas a lo largo de la fachada antigua. Las patologías, en forma de fisuras, en el interior del edificio eran antiguas pero se reactivaron. Estas pudieron ser causadas por tres factores:

- a) Por distensión horizontal paralela a alineaciones de muros.
- b) Por rotación de fachadas al exterior, principalmente hacia el Gran Canal.
- c) Por asientos diferenciales. Asentamientos verticales no admisibles por la estructura.

### – **Características geotécnicas del terreno de cimentación y conclusiones**

Para la determinación de la composición litológica y características geotécnicas del terreno de cimentación, se llevó a cabo una intensa campaña de investigación de campo. Gracias a esta se pudieron diferenciar los siguientes niveles de terreno hasta una profundidad investigada de 30 metros:

- Nivel I: Conformado principalmente por limos y arcillas poco consistente, con intercalaciones de arena limosa y fragmentos de madera, hasta la cota de -9,00 m.s.n.m.
- Nivel II: Constituido por una capa de arena, mucho más permeable anterior; con un espesor descrito que oscila entre los -6,00 y los -9,30 m.
- Nivel III: Caracterizado por una alternancia de limos arcillosos y limos arenosos hasta la profundidad de -29,00 m.s.n.m.

### – **Intervención de consolidación**

Se ha intervenido con la tecnología Uretek Deep Injections®, utilizando la resina Geoplus®, en el terreno de cimentación y en la parte trasera del muro de contención del canal, sin interferir con las estructuras de muro presentes. La intervención se hizo en dos fases:

- Fase I. Compactación superficial. Mediante inyecciones en la cota de cimentación con el objetivo de mejorar las características geomecánicas del terreno y rellenar los huecos existentes entre el terreno y la cimentación.
- Fase II. Consolidación profunda. Mediante inyecciones en el volumen de terreno afectado por las cargas de la estructura hasta el techo de la capa de arena (Nivel II).

Para llevar cabo esta consolidación, se dispuso una malla con 9 perfiles, en los que se distribuyeron los puntos de inyección cada 0,50 m. Se establecieron, por proyecto, hasta siete niveles de inyección, desde los 4,0 hasta los 7,0 m, Figura 30.

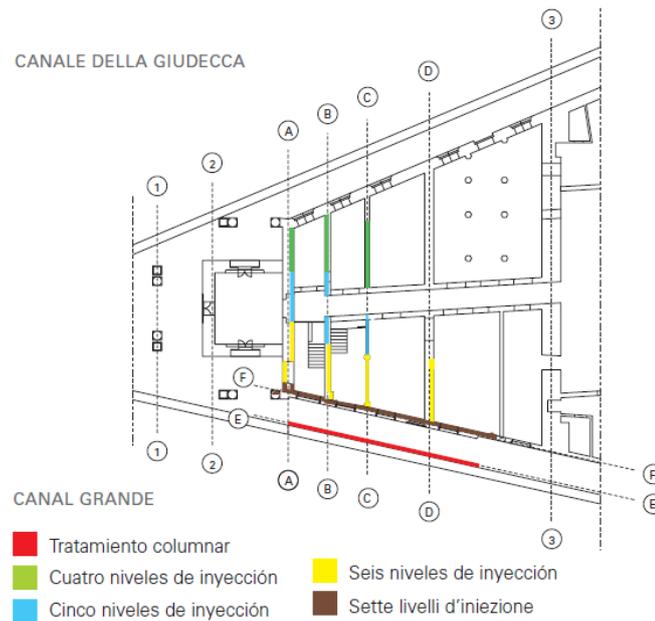


Figura 30. Planta de situación de la intervención de consolidación.

En uno de los perfiles (perfil E), se realizó un tratamiento de tipo columnar, consistente en la retirada del tubo de inyección del taladro, con velocidad controlada, durante la inyección de resina por la parte interior del muro de contención.

Estas inyecciones columnares han afectado a una franja de terreno, situado por detrás del muro de contención, alcanzando una profundidad entre -3,0 y -8,5 m.s.n.m., Figura 31.

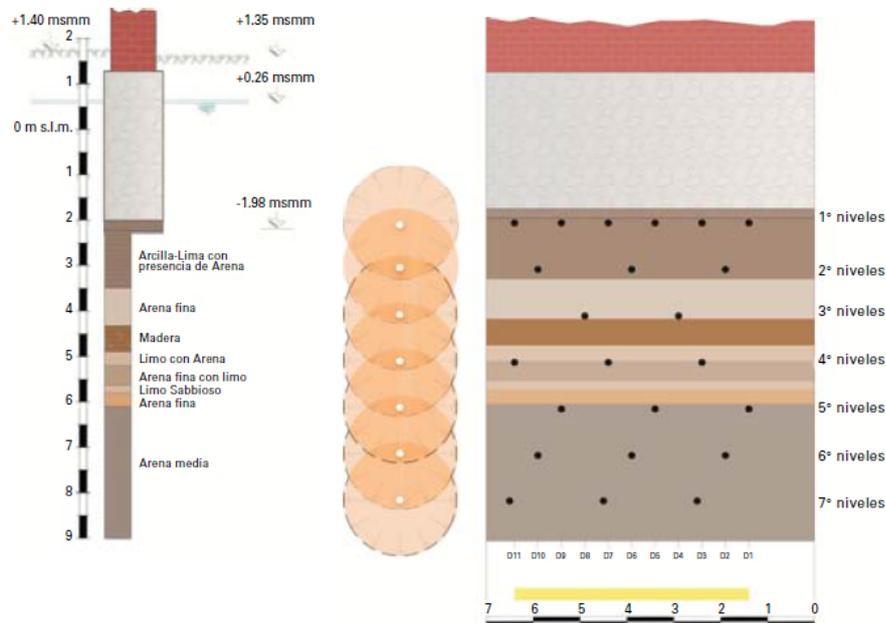
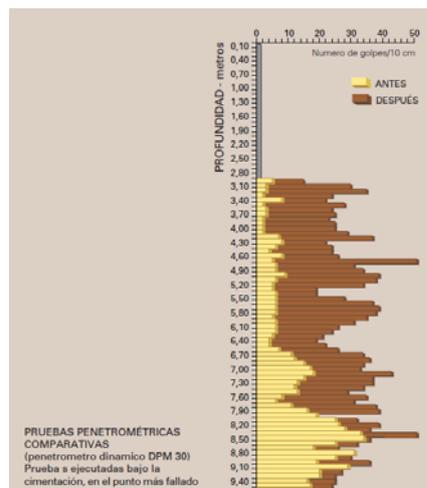


Figura 31. Columna litológica y niveles de inyección

El resultado de la intervención se ha comprobado con la realización de ensayos de penetración dinámica antes, durante y después de la intervención, Figura 32.



**Figura 32.** Ensayo penetrométrico realizado antes y después de la intervención.

El control de movimientos de la estructura, durante las diferentes fases de la intervención, se realizó mediante un nivel laser y varias dianas fijadas a la estructura, que permitía monitorizarlos en tiempo real desde el inicio de la actuación. El dispositivo de control consta de un nivel laser y varias dianas fijadas a la estructura.

La intervención se realizó en un total de 3 meses, desde marzo a mayo, de 2004.

### 8.2.3. Palacio en la calle Joseph de Maistre. Montmartre, París (Francia).

#### – Historia de la edificación

Situado cerca de la basílica del Sagrado Corazón sobre la colina de Montmartre, con sus 130 metros, la colina de Montmartre es el punto más alto de París, en la zona Norte de la ciudad. La zona, de origen rural, fue englobada en la ciudad a mediados del siglo XIX. La época de oro de Montmartre se sitúa, cronológicamente, entre finales del siglo XIX y la Primera Guerra Mundial, cuando los alquileres baratos atrajeron a los artistas que crearon el mito bohemio de Montmartre. Circunscrito en este contexto, y precisamente en la vertiente suroeste de la colina, está ubicado el edificio histórico que se remonta al siglo XIX, Figura 33.



**Figura 33.** Palacio calle Joseph de Maistre. Montmartre (París).

### – **Patología: fisuras y asientos**

Se detectaron fisuras producidas por variaciones en las propiedades mecánicas del terreno de apoyo de la cimentación y que desencadena una nueva distribución de tensiones. En este sentido este nuevo campo tensional ha estado motivado por fugas o roturas de conducciones de agua que afectan al terreno de cimentación.

Se describieron grietas estructurales pasantes en el muro longitudinal del edificio y sobre la parte superior de la mampostería. Se ha evidenciado una lesión, en formas de grietas y fisuras de disposición sub-horizontal que recorría toda su extensión, llegando a 45°, en correspondencia con una fisura en forma de arco, de un lado y del otro, hacia el suelo, con un curso escalonado típico de las mamposterías de ladrillo.

### – **Características geotécnicas del terreno de cimentación y conclusiones**

La colina de Montmartre se caracteriza por la presencia de rellenos antrópicos, generados por la acumulación de terrenos provenientes de antiguas canteras, que se apoyan en niveles de margas calcáreas y gredas. En estos se han detectado presencia de cavidades.

Durante las labores de reconocimiento de campo, fueron detectados dos niveles geotécnicos:

- Nivel I. Relleno antrópico de escasa calidad geotécnica, que alcanza una potencia variable entre los 2,00 y los 5,00 m.
- Nivel II. Terreno natural de mejores características y apto para el apoyo de las futuras actuaciones de consolidación y recalce.

La cimentación se encuentra a 0,70 metros de profundidad, apoyada en el Nivel (I) superior, de deficientes características geotécnicas, que alcanza un espesor muy variable, entre los 2,0 y los 5,0 m.

Esta circunstancia, unida a la existencia de pérdidas de agua que, muy probablemente hayan aumentado progresivamente como consecuencia de la deformación del alcantarillado, sea el origen de los asientos de la cimentación.

### – **Intervención de consolidación**

Las intervenciones realizadas, estaban encaminadas a anular las consecuencias del desequilibrio y, en la medida posible, a recuperar parcialmente los asentamientos diferenciales que se produjeron.

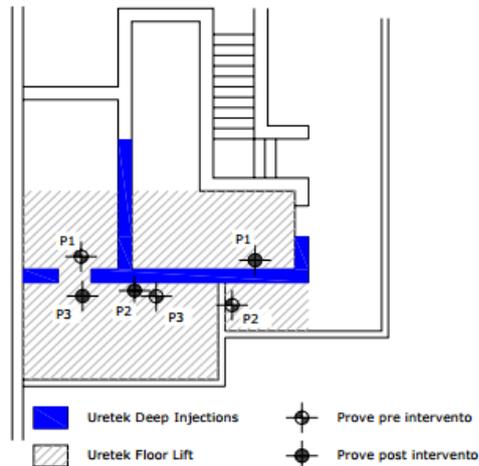
Se decidió intervenir exclusivamente con la tecnología Uretek Deep Injection®, utilizando la resina de poliuretano expandido Geoplus®, capaz de ejercer una elevada presión de hinchamiento, con tiempos de polimerización extremadamente rápidos que permitieran la contención de la mezcla inyectada dentro del bulbo de terreno afectado por la cimentación debido a las tensiones inducidas por las cargas en superficie.

La intervención se realizó a lo largo de 9,00 m lineales de cimentación y 20,00 m<sup>2</sup> de soleras de los sótanos, con un consumo total de 1692 kg de material inyectado, Figura 34.

Las operaciones se han dividido en las tres fases operativas siguientes:

### Primera fase

Realización de inyecciones directamente por debajo del nivel de apoyo de la cimentación. Con este proceder se consiguió consolidar el suelo situado en la interfaz suelo-cimentación y rellenar los huecos eventualmente presentes.



**Figura 34.** Planta de reconocimientos geotécnicos antes y después de la intervención.

Por tanto el objeto era volver a poner en carga la cimentación, reduciendo así la sensibilidad a los asientos.

Los taladros, perforados para la realización de la inyección, tenían un diámetro de 20 mm y una separación entre ejes de taladro de 0,60 m.

Las inyecciones se realizaron alternativamente en una parte y en la otra del muro y continuaron hasta que se detectó un principio de levantamiento de la estructura superior, mediante el control, en tiempo real, realizado con el nivel laser.

### Segunda fase

Realización de inyecciones en profundidad actuando dentro del bulbo del terreno generado por las tensiones inducidas debidas a las cargas superficiales.

Las inyecciones se realizaron en correspondencia con los ejes de los taladros de las inyecciones de primera fase, a tres niveles de profundidad, cotas -2,00 -3,00 y -4,50 m, a partir del nivel de la solera de los sótanos.

### Tercera fase

Mejora del terreno de apoyo de la solera en el entorno del muro, a una profundidad comprendida entre -1,00 y -4,50 m, a partir del nivel de solera. Las inyecciones se distribuyeron al tresbolillo sobre una malla de 1,00 m<sup>2</sup> de superficie.

Para el tratamiento de las soleras, se han realizado inyecciones columnares, con extracción del tubo de inyección a velocidad controlada, a partir de cota -4,50 m del nivel de trabajo, tecnología Floor Lift® Uretek.

Gracias a una monitorización de precisión ha sido posible levantar la solera, de forma controlada, y ha permitido eliminar casi totalmente los asentamientos diferenciales.

La intervención se realizó entre el 8 y el 11 de julio de 2002.

#### 8.2.4. Torre medieval Città di Castello (Italia).

##### – Historia de la edificación

La torre, inicialmente construida con propósitos militares, puede datarse alrededor del siglo XIII y es la única estructura singular, junto con el "Campanario Rotondo", que queda en el pueblo antiguo Città di Castello.

El edificio de planta rectangular, con unas dimensiones de 6,10 x 6,80 m, tiene una altura máxima en la fachada de 39,80 m. Está dividida en siete niveles diferentes, cuatro de los cuales fueron utilizados como prisión.

La torre, en su estado actual, es el resultado de varios derrumbamientos y reconstrucciones realizadas a lo largo del tiempo, deducible de las diferentes texturas de las paredes, que se suceden a lo largo de la altura de la torre, Figura 35.



**Figura 35.** Vista de la torre medieval de Città Di Castello (Italia).

##### – Patología: fisuras y asentos

En marzo de 2007, después de un terremoto registrado en la zona, de magnitud de 2,2 en la escala Richter, fueron descritas varias grietas. Una de ellas, la más importante, con una apertura de 4 cm, fue descrita entre la torre y el Palacio del Obispo adyacente.

Analizando los datos registrados de las grietas, se identificó un asentamiento diferencial causado por el terremoto. Este asentamiento hizo aumentar la inclinación ya existente de la torre, hacia la plaza. En concreto, la inclinación creció de 72 a 78 cm, empeorando su estado de esfuerzo, ya cercano al límite.

Ante estas circunstancias, el día 3 de octubre de 2007, se decidió monitorizar en tiempo real la estructura de la torre y el movimiento que esta registraba. Se registró una inclinación de 74 cm hacia la plaza y 34 cm hacia el callejón contiguo. Durante los siguientes once días, se registró un asentamiento de 8 mm en ambas direcciones.

#### – **Características geotécnicas del terreno de cimentación y conclusiones**

En el año 2003 se realizó una campaña de investigación geotécnica consistente en la perforación de cuatro sondeos profundos, una prospección del terreno con georadar y la realización de ensayos de laboratorio. El resultado de la investigación permitió concluir lo siguiente:

- a) La profundidad de la cimentación varía entre los 2,3 m, en los lados que dan a la plaza y el callejón, y los 3,6 m, en el lado que linda con el Palacio del Obispo y el de la parte posterior, a partir del nivel de calle.
- b) El terreno está constituido por un nivel superficial de relleno heterogéneo, cuyo espesor varía de 1,5 a 5,7 m, un nivel de arenas limosas y limos arenosos, y una capa inferior de arcilla y limos arcillosos que se sitúa a una profundidad que varía entre los 10,0 y 13,0 m.
- c) El nivel freático del terreno fue localizado a una profundidad de 10 m desde el nivel de calle, pero puede sufrir variaciones importantes.
- d) De forma adicional, fue localizado un nivel de agua superficial procedente de las pérdidas de unas tuberías existentes en la plaza, después de grandes lluvias.

#### – **Intervención de consolidación**

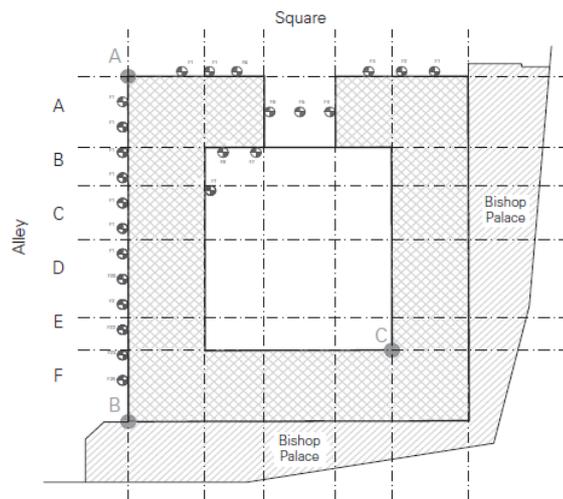
Debido a la necesidad de emplear una tecnología de bajo impacto, que garantizase pocas vibraciones y perforaciones de diámetro muy pequeño, se eligió una técnica de inyecciones de resina de poliuretano expandido Uretek Deep Injections®.

Esta tecnología, consistente en inyecciones puntuales en el terreno con una resina de alta presión de expansión, que produce una considerable mejora de las propiedades geotécnicas del suelo de cimentación.

Por lo tanto, después de ser inyectada en el terreno a tratar, la resina empieza a expandir. En este caso se necesitaba también de una elevada presión de expansión del material inyectado para garantizar una compactación apropiada del terreno.

La presión ejercida por dicha expansión tenía que ser, forzosamente, más elevada que el estado de esfuerzo inducido por la estructura superior con el propósito de garantizar su consolidación. El proceso de la expansión, conduce primero a la compactación del suelo circundante y después, en caso de estructuras, también a su levantamiento.

La distribución de los puntos de inyección se centró en el lado de la torre que da del callejón y en la fachada principal de la torre que da a plaza, Figura 36.



**Figura 36.** Planta de situación de los taladros de inyección en la torre.

Durante el trabajo se realizó una monitorización de la torre en tiempo real, con el fin de detectar cualquier movimiento vertical de la estructura tratada. El dispositivo de control consta de un nivel láser y varias dianas fijadas a la estructura. El control de movimientos de la torre todavía se sigue realizando, no registrándose asentamientos en los dos últimos años.

La intervención se realizó en un total de 14 días del mes de marzo de 2007.

### 8.2.5. Colegio Cardenal Espinosa. Martín Muñoz de las Posadas, Segovia (España).

#### – Historia de la edificación

Edificio histórico anexo al Palacio Cardenal Espinosa, diseñado por Juan Bautista de Toledo, arquitecto renacentista español, uno de los más destacados de su tiempo, con excepcional experiencia en urbanismo e ingeniería militar e hidráulica, Figura 37.



**Figura 37.** Vista panorámica de la edificación.

La edificación es de planta rectangular. Tiene un patio interior cuadrado con distintas dependencias en su entorno, con dos pisos; el piso inferior tiene una galería con arcos de medio punto y columnas toscanas y el superior es adintelado sobre columnas jónicas con zapatas. La fachada es de ladrillo, con un zócalo de piedra de sillería.

#### – **Patología: fisuras y asientos**

La presencia de asientos diferenciales en la edificación no ha sido una patología nueva. El edificio tuvo, anteriormente, una actuación encaminada a mitigar esta patología intentándola subsanar recreciendo la cimentación, mediante la construcción de pozos de hormigón de entre 2,20 y 2,40 metros de profundidad. A pesar de ello, hace unos años, volvieron a aparecer grietas de considerable magnitud.

Según la información disponible en el momento de la actuación, los asientos estaban motivados por variaciones en las propiedades mecánicas del terreno de cimentación, de naturaleza arcillosa, lo que condiciona una nueva distribución de tensiones.

Este nuevo escenario tensional ha estado desencadenado, presumiblemente, por fugas en de un vaso de una piscina cercana. A esta circunstancia, habría que añadirle la presencia de un nivel freático cuya profundidad oscila sensiblemente a lo largo del año.

#### – **Características geotécnicas del terreno de cimentación y conclusiones**

Según la información geotécnica disponible, la cimentación del edificio descansa sobre un substrato arcilloso de tonalidad anaranjada de unos 4,00 metros de espesor máximo.

El hecho que un material de naturaleza arcillosa y, por lo tanto, de marcado comportamiento cohesivo (DB SE-C 2006), se encuentre mojado por causas no naturales (fugas de agua), provoca una considerable merma en su estado de consistencia e induce a establecerse un nuevo estado tensional.

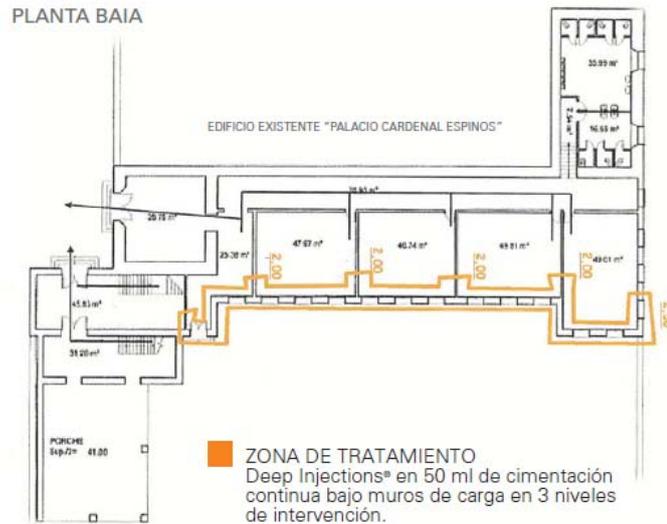
Posiblemente este nuevo escenario sea el causante de la patología ya que estas arcillas no son aptas para soportar el peso del edificio. Esta hipótesis se ve avalada por la nueva aparición de grietas y fisuras de 45°, hacia el suelo, con un curso escalonado típico de las mamposterías de ladrillo.

#### – **Intervención de consolidación**

Como alternativa a una solución tradicional, se optó por una tecnología poco invasiva y de rapidez de ejecución, la tecnología Urettek Deep Injections®.

La tecnología aplicada, ha permitido la densificación del terreno de apoyo de la cimentación, a través de la inyección de resina de poliuretano, con alta presión de expansión, Geoplus®, que, expandiéndose ha transmitido al volumen sólido alrededor de la cimentación una acción de compactación que origina un aumento tangible de su capacidad de carga.

El tratamiento se ha realizado en 50 metros lineales bajo uno de los muros de carga que constituyen la cimentación del edificio, Figura 38.



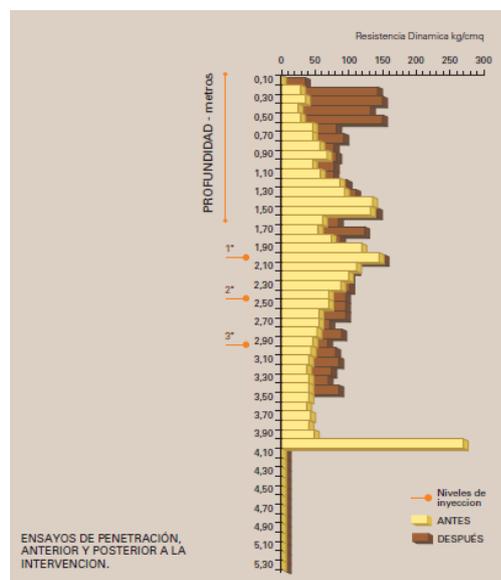
**Figura 38.** Planta de situación de la zona tratada en el edificio.

La intervención se ha ejecutado en dos fases:

- Fase I. Compactación superficial. Mediante inyecciones a cota de apoyo de cimentación, con el fin de mejorar las características geomecánicas del terreno y rellenar los huecos presentes entre cimentación y terreno.
- Fase II. Consolidación en profundidad. Mediante inyecciones ejecutadas a diferentes profundidades (3 niveles), en el volumen de terreno afectado por las cargas del edificio.

Durante el trabajo se realizó una monitorización del edificio, con el fin de detectar cualquier movimiento vertical de la estructura, mediante un nivel laser y varias dianas fijadas a la estructura, así como un control del volumen de resina inyectada y su presión de inyección.

Se ha querido constatar la mejora del terreno después de la intervención. Para ello se han comparado los ensayos de penetración realizados antes y después de la intervención. Figura 39.



**Figura 39.** Ensayo penetrométrico realizado antes y después de la intervención.

De su análisis se deduce una significativa mejora de las características geotécnicas, en cuanto al estado de consistencia de los depósitos arcillosos, por debajo de la cimentación en toda la zona tratada.

La intervención se realizó en un total de 4 días del mes de diciembre de 2011.

### 8.2.6. Edificio en calle Sánchez Vera. Cuenca (España).

#### – Historia de la edificación

Desde su origen romano hace más de 2000 años, la ciudad de Cuenca posee uno de los bagajes históricos más antiguos de la Península Ibérica y fue declarada Patrimonio de la Humanidad. Al esplendor urbanístico y arquitectónico en la Baja Edad Media, Cuenca se convirtió en una ciudad pujante e industrial con una notable expansión económica, atribuida sobre todo, a la producción textil y ganadera. El comercio de paños y la producción de alfombras trajeron consigo una extensa industria de transformación de lanas con lavaderos, tintorerías y tejedurías.

En el siglo XIX queda conformada la ciudad actual, siendo la calle Alfonso VIII su principal vía que comunica con la Plaza Mayor y la hoz del río Huécar, como la frontera entre las dos zonas de Cuenca.

En la ciudad actual, la parte alta deja de ser la arteria principal, dejando paso a la parte baja como centro económico y social. Con la calle Carretería como centro urbano, administrativo y burocrático de la ciudad. La parte alta alberga actualmente la Universidad de Castilla-La Mancha, Universidad Menéndez Pelayo, Archivo Histórico, Parador de Turismo, Ayuntamiento y el Museo de la Ciencias.

El edificio, objeto de estudio, se sitúa en la parte alta que conforma el conjunto histórico de la ciudad. Concretamente en la calle Sánchez Vera nº 11. El edificio posee más de 100 años y consta de 4 plantas sobre rasante sin planta sótano, Figura 40.



**Figura 40.** Vista del edificio durante la actuación.

### – **Patología: fisuras y asientos**

Las causas de las patologías observadas en la edificación están motivadas, fundamentalmente, por la presencia de asientos diferenciales, que en ocasiones comprometen la preservación de la estructura.

Según la información disponible en el momento de la actuación, los asientos son motivados por variaciones en las propiedades mecánicas del terreno de apoyo de la cimentación, lo que ha provocado una nueva distribución de tensiones. Este nuevo estado tensional se desencadenó por la rotura de la red de saneamiento, en dos ocasiones en los últimos años, provocando el lavado del terreno de apoyo de la cimentación del edificio.

En este caso, la actuación a realizar estaba dirigida a que la interacción suelo-estructura sea capaz de adaptarse al nuevo estado tensional, consolidando el terreno de cimentación con el fin de dar continuidad a los trabajos previstos de Rehabilitación Integral del Edificio.

### – **Características geotécnicas del terreno de cimentación y conclusiones**

De la información geotécnica disponible se deduce que, el terreno está conformado por tres niveles geotécnicos.

- Nivel I. Integrado por una capa de rellenos antrópicos y una losa de hormigón de 1,75 m de espesor.
- Nivel II. Conformado por suelos de naturaleza cohesiva y composición arcilloso-margosa, con presencia de materia orgánica de 3,75 m de espesor.
- Nivel III: Representado por yesos blancos intercalados con niveles de caliza. En conjunto alcanza una profundidad de 12,00 metros.

### – **Intervención de consolidación**

Debido a que los trabajos de consolidación deberían ser rápidos, poco invasivos y sin incidir en las obras de rehabilitación que se estaban llevando a cabo en la edificación, se decidió emplear como alternativa a una solución tradicional de recalce, la tecnología Uretek Deep Injections® con inyecciones de resina Geoplus®.

Esta intervención se realizó en dos fases:

- Fase I. Compactación superficial. Mediante inyecciones a la cota de apoyo de cimentación con el fin de mejorar las características geomecánicas del terreno y rellenar los huecos existentes entre terreno y cimentación.
- Fase II. Consolidación en profundidad. Mediante inyecciones ejecutadas a diferentes profundidades (3 niveles), en el volumen de terreno afectado por las cargas del edificio.

La intervención ha tenido como objetivo final la consolidación integral del edificio, para lo cual se ha realizado las inyecciones de resina en el terreno donde se apoya la cimentación continua (muros de carga) del edificio. La actuación se ha realizado a lo largo de los 103 metros lineales de cimentación continua del edificio, Figura 41.

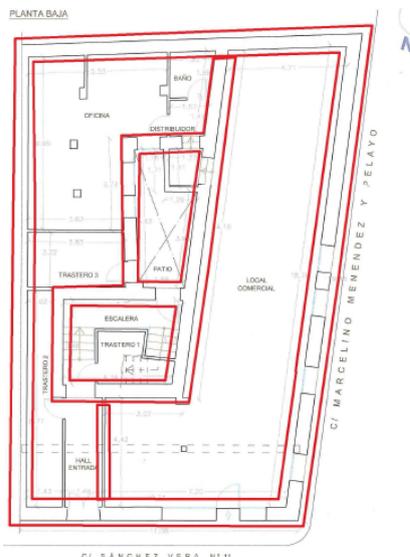


Figura 41. Planta de situación de la zona tratada en el edificio.

Durante el trabajo se realizó una monitorización del edificio, con el fin de detectar cualquier movimiento vertical de la estructura, mediante un nivel laser y varias dianas fijadas a la estructura, así como un control del volumen de resina inyectada y su presión de inyección.

Se ha querido constatar la mejora del terreno después de la intervención. Para ello se han comparado los ensayos de penetración dinámica realizados antes y después de la intervención Figura 42.

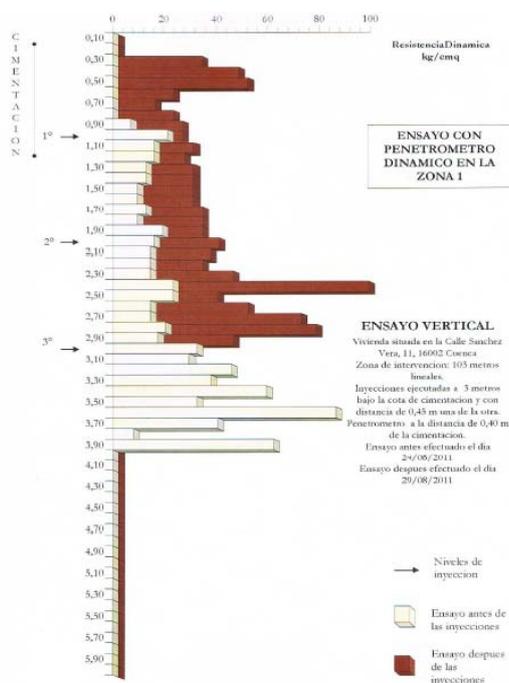


Figura 42. Ensayo penetrométrico realizado antes y después de la intervención.

La intervención se realizó en un total de 8 días del mes de agosto de 2011.

### 8.2.7. Capilla Saint Nicodeme. Bretaña (Francia).

#### – Historia de la edificación

La capilla de Saint Nicodeme es obra del arquitecto J. Layec. Es una capilla del siglo XVI, construida entre los años 1520 y 1536, en sustitución de la primita capilla de Saint Cognan. Fue parcialmente reconstruida durante los siglos XVII y XIX.

Posee una planta en forma de cruz latina con campanario. Data del siglo XVII, con la excepción de las alas que se remontan al siglo XVI, época en que también se realizó el coro, Figura 43.



**Figura 43.** Vista de la Capilla de Saint Nicodeme, Bretaña (Francia).

Fue reconstruida durante el episcopado de Monseñor David (1862-1882), cuyas armas adornan una de las fachadas. Las ventanas están rematadas con frontones, su tracería recuerda a las edificaciones Magoar (Bretones), y gárgolas de la zona de Lanrivain (Bretaña). La nave central, de 31 metros de longitud y 7 metros de altura data del siglo XVI. La torre del campanario alcanza una altura de 50 metros y su base rectangular es de 11 m de ancho por 20 m de largo.

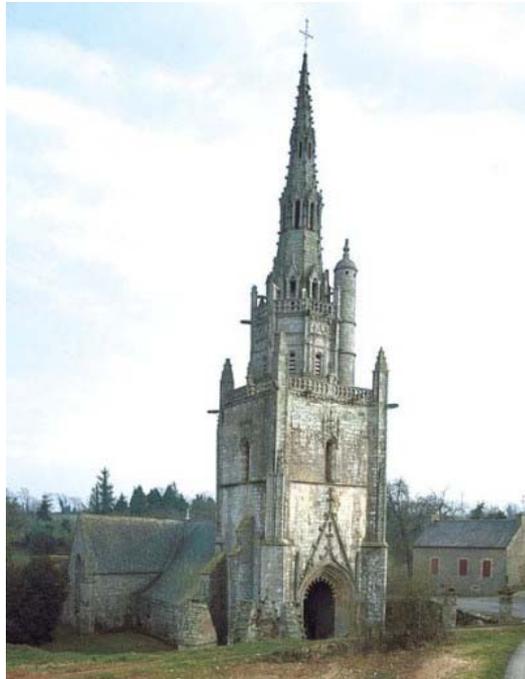
#### – Patología: fisuras y asientos

En el año 1914 se detectaron una serie de grietas debido a problemas en los cimientos de la torre. La cimentación de la capilla se encuentra a 3 metros de profundidad, detectándose el nivel freático a una profundidad de 1,4 m de, referenciado con el nivel de la entrada a la capilla.

#### – Características geotécnicas del terreno de cimentación y conclusiones

El reconocimiento realizado en el año 1926, puso de manifiesto que el terreno estaba conformado por un macizo rocoso, de naturaleza esquistosa, que presentaba un alto grado de meteorización debido a su intensa fracturación, lo que le hace muy sensible a la humedad.

Esta naturaleza del macizo rocoso, unido a la presencia de un nivel de agua superficial, parecen ser las causas más probables de la inestabilidad de la torre, que ya empezaba a inclinarse, Figura 44.



**Figura 44.** Vista de la torre del campanario donde se aprecia su inclinación.

Entre los años 1927 y 1930, se realizaron una serie de actuaciones consistentes en la inyección de cemento, a baja presión, con el propósito de consolidar el terreno donde estaba cimentada la torre. En 1972, la inclinación de la torre seguía siendo evidente.

En estudios recientes se han detectado nuevas grietas, atribuidas a la presencia de agua en el terreno debida a las pérdidas de una red de saneamiento existente en las proximidades de la capilla.

#### – **Intervención de consolidación**

Debido a la crítica situación del campanario se planteó una intervención destinada a la mejora del terreno de cimentación, mediante la tecnología Uretek Deep Injections®, con inyecciones de resina Geoplus®.

La intervención se realizó en dos fases:

- Fase I. Compactación superficial. Mediante inyecciones a la cota de apoyo de cimentación con el fin de mejorar las características geomecánicas del terreno y rellenar los huecos existentes entre terreno y cimentación. Se realizó durante los meses de abril y mayo de 2009.
- Fase II. Consolidación profunda. Mediante inyecciones ejecutadas en el volumen de terreno afectado por las cargas del edificio. Se realizó entre los días 6 al 9 de octubre de 2009, Figura 45.



**Figura 45.** Situación de los taladros destinados a la inyección del campanario.

Tanto al inicio de la intervención, como una vez realizada esta, se realizaron ensayos presiométricos para comparar la resistencia del terreno y verificar la idoneidad y mejora conseguida.

Los resultados muestran una mejora significativa en las propiedades del terreno, en lo referente a su módulo de deformación (E) y a la presión límite (PL), que corresponde a la rotura del terreno e interviene en los cálculos de estabilidad de las cimentaciones.

#### Campana presiométrica anterior a la intervención del año 2003

- Módulo de deformación (E):  $17,8 < E < 88,2$  MPa
- Presión límite (PL):  $1,96 < PL < 4,01$  MPa

#### Campana presiométrica posterior a la intervención del año 2009

- Módulo de deformación (E) :  $21,8 < E < 136$  MPa
- Presión límite (PL):  $2,96 < PL < 5,94$  MPa

Esta intervención ha permitido aumentar el módulo elástico de los pilares más afectados por las tensiones inducidas por la carga de la estructura, reduciendo así la posibilidad de fallo de la estructura.

La intervención se realizó en abril y mayo, y 4 días del mes de octubre de 2009.

### **8.2.8. Bodegas La Tribuna y El Molino, Beam Global. Jerez de la Frontera (España).**

#### **Historia de la edificación**

Beam Global (antiguas Bodegas Domecq) son las más antiguas de Jerez de la Frontera (Cádiz). Su origen data del siglo XVIII, formando un impresionante conjunto histórico compuesto principalmente por las bodegas San Pedro, El Castillo, El Molino, La Tribuna y La Luz.

Las Bodegas fueron construidas en el siglo XVIII y ampliadas en el siglo XIX, con muros de sillares trabados con mampuesto de 50 cm de espesor. Los pilares principales y anexos tienen entre 7 y 12 m de altura y la cimentación está formada por un sobrancho de los muros y pilares sobre argamasa de tierra con cal, Figura 46.



**Figura 46.** Vista de la bodega durante la actuación.

– **Patología: fisuras y asientos**

La causa de los asientos detectados es achacable al terreno de cimentación, constituido por rellenos de escasa calidad geotécnica, sobre los que se apoya la cimentación, formada por argamasa de tierra con cal. Esta circunstancia se ve agravada por el hecho de que la cimentación queda por encima del nivel de calle, permitiendo el vuelco de la fachada ante el empuje de las arcadas que apoyan en las pilastras de sillares.

– **Características geotécnicas del terreno de cimentación y conclusiones**

Durante las labores de reconocimiento de campo, fueron detectados dos niveles geotécnicos:

- Nivel I. Relleno de origen antrópico, conformados por una mezcla, en proporciones variables, de arena limosa con restos cerámicos, y caracterizado por su escasa calidad geotécnica que alcanza una potencia variable entre los 2,00 a los 5,00 m.
- Nivel II. Terreno natural constituido por margas arcillosas, de mejores características.

La cimentación se encuentra a 0,70 metros de profundidad, apoyada en el nivel más superficial (Nivel I). Circunstancia que ha provocado la patología.

– **Intervención de consolidación**

Las soluciones tradicionales propuestas, además de ser invasivas, obligaban a un movimiento de las botas de fabricación del vino, lo que estropearía el proceso de elaboración del vino. Este hecho, unido a que la zona posee especial protección arqueológica, condicionó a adoptar una solución poco invasiva y rápida, la tecnología Uretek Deep Injections®, utilizando la resina Geoplus®.

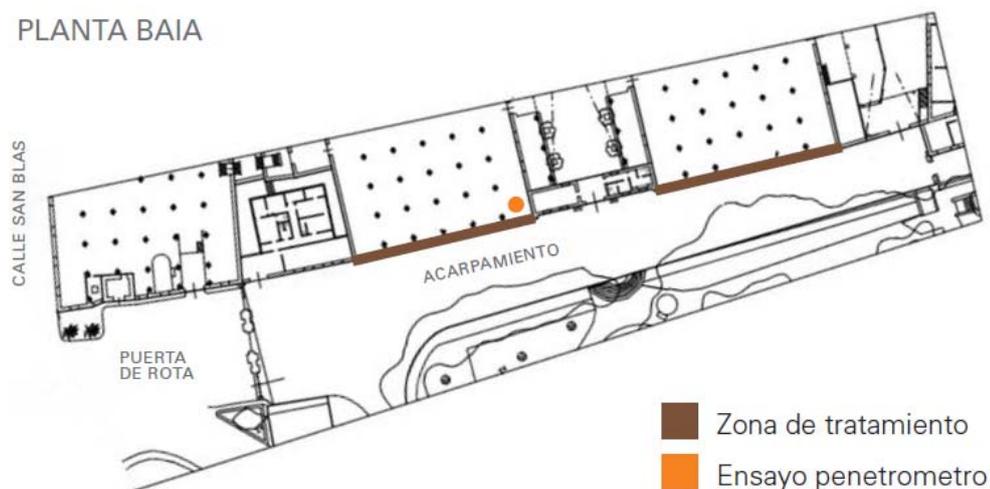
Esta tecnología permite la recompresión y consolidación del terreno de apoyo de la cimentación. De forma adicional, permite la mejora de cimentación sin afectar a los posibles restos arqueológicos existentes en la zona.

El método Uretek Deep Injection®, utiliza una resina de poliuretano capaz de ejercer una elevada presión de hinchamiento, con tiempos de polimerización extremadamente rápidos que permiten la contención de la mezcla inyectada dentro del bulbo de terreno afectado por la cimentación.

La intervención se ha ejecutado en dos fases:

- Fase I. Compactación superficial. Mediante inyecciones a la cota de apoyo de cimentación con el fin de mejorar las características geomecánicas del terreno y rellenar los huecos existentes entre terreno y cimentación.
- Fase II. Consolidación en profundidad. Mediante inyecciones ejecutadas a diferentes profundidades (3 niveles), en el volumen de terreno afectado por las cargas del edificio.

Durante el trabajo se realizó una monitorización de la bodega, con el fin de detectar cualquier movimiento vertical de la estructura, mediante un nivel laser y varias dianas fijadas a los pilares de la estructura, así como un control del volumen de resina inyectada y su presión de inyección, Figura 47.

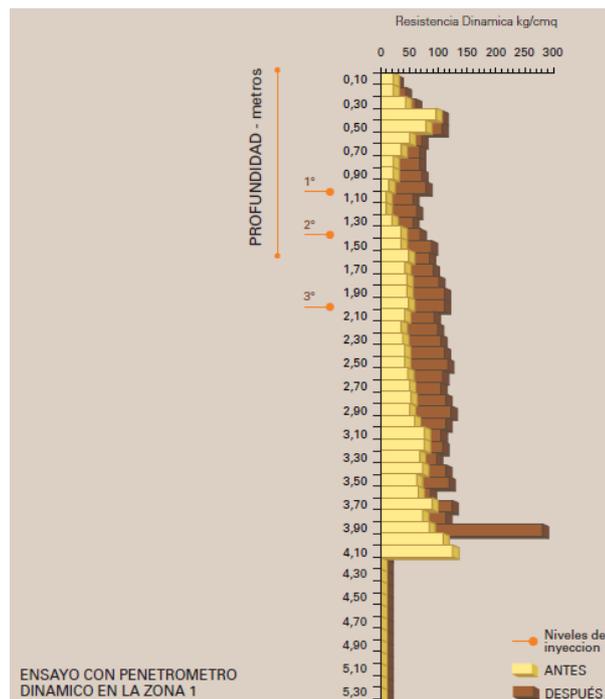


**Figura 47.** Planta de situación de la zona tratada en el edificio.

Se ha querido constatar la mejora del terreno después de la intervención. Para ello se han comparado los ensayos de penetración dinámica realizados antes y después de la intervención.

En el ensayo penetrométrico previo, los golpes registrados eran especialmente bajos hasta 1,30 m de profundidad. El ensayo posterior a la intervención puso de manifiesto un aumento en la resistencia de este ensayo del 40%, Figura 48.

Los daños fueron mínimos, ya que se ejecutó toda la intervención desde el interior de las naves sin que se tuviera que mover ningún contenido de las mismas.



**Figura 48.** Ensayo penetrométrico realizado antes y después de la intervención.

La intervención se realizó en un total de 6 días durante el mes de diciembre de 2011.

### 8.3. Actuaciones en obras diversas.

Se exponen otro tipo de actuaciones encaminadas a la consolidación del terreno en diferentes elementos constructivos y servicios afectados, que se han realizado con la tecnología Uretek Deep Injections®.

Estas actuaciones son las siguientes:

- Iglesia en Rojales. Alicante (España).
- Refugio Europa. Val di Vizzate (Italia).
- Edificación y vial afectados por un karst. Alcalá de Ebro, Zaragoza (España).
- Basílica de San Cosme e Damiano. Via dei Fori Imperiali, Roma (Italia).
- Consolidación del apoyo de un Gaseoducto. Valdespartera, Zaragoza (España).

#### 8.3.1. Iglesia de Rojales. Alicante (España).

##### - Historia de la edificación

Rojales es un municipio de la Comunidad Valenciana, ubicado en la provincia de Alicante, en la comarca de la Vega Baja del Segura. En una de sus urbanizaciones, Doña Pepa II, se construyó la Iglesia de San José, que fue inaugurada en el año 2011.

La edificación de forma cúbica y diseño moderno de líneas puras, consta de una única planta que se encuentra en una plataforma elevada, construida mediante aportes de tierras a modo de relleno estructural, Figura 49.



**Figura 49.** Vista de la iglesia de San José.

– **Patología: asientos en rellenos estructurales**

Los pavimentos y muros son elementos con gran rigidez, mientras que los rellenos tienen una rigidez menor y en cierta medida dependen tanto de la naturaleza de los materiales, como de la compactación a la que se vean sometidos.

La aparición de asientos, es por tanto, consecuencia de la interacción entre el terreno y estructura, y de los movimientos o deformaciones provocadas en los niveles de rellenos estructurales, deformaciones que no son asimilados por el pavimento por lo que este se deforma.

Este hecho, unido posiblemente, a una insuficiente compactación del terreno de apoyo del pavimento exterior de la iglesia ha provocado el asiento, de unos 2 cm de media, en el mismo.

Paralelamente, también el muro correspondiente a la rampa de acceso al recinto de la iglesia ha presentado patologías, probablemente derivadas de la misma causa.

– **Intervención de consolidación**

Como alternativa a la demolición del pavimento y recalce del muro por métodos convencionales, con lo que ello hubiera supuesto, tanto en tiempo como en coste, se optó por la intervención con la tecnología Uretek Deep Injection® (en el pavimento) y Uretek Floor Lift® (en el muro), con inyecciones de resina Geoplus®, cuyas características son la poca invasividad y rapidez de ejecución.

Las inyecciones se realizaron, en la totalidad de la superficie a tratar, mediante la distribución, en la zona a tratar, de los tubos de inyección en una malla de un punto de inyección cada m<sup>2</sup>. La tubería colocada en las perforaciones fue de 8 mm de diámetro. Para el tratamiento de la cimentación del muro, la separación entre perforaciones fue de, aproximadamente, 1 metro, Figura 50.



**Figura 50.** Distribución de los puntos de inyección sobre el pavimento exterior.

La inyección se realizó en el relleno consolidando sobre el que estaba apoyado la superficie del pavimento exterior delantero de la iglesia, levantándolo una media de 2 cm en escasos minutos.

Gracias a la técnica no invasiva y a la rapidez de actuación, la iglesia ha seguido su funcionamiento normal de culto. La aplicación de estas dos ha permitido solucionar el problema de asientos, tanto en el pavimento como bajo la cimentación del muro con un coste y tiempo muy reducidos.

Finalmente se pudieron recuperar 2 cm de asiento de media, con puntas de hasta 4 cm, realizando además una correcta nivelación del pavimento de acceso.

La intervención se realizó en dos días durante el mes de septiembre de 2012.

### **8.3.2. Refugio Europa. Val di Vizze (Italia).**

#### **– Historia de la edificación**

El "Refugio de Europa" situado en los Alpes, en el pico sur-oeste de Gerla, a 2.693 metros de altitud, entre el Val di Vizze (Italia) y la Vennatal (Austria), en el municipio de Vizze (Bolzano).

Fue construido a finales del siglo XIX y se inauguró en agosto de 1899. Tres años más tarde, en 1902 y en vista de la afluencia de excursionistas, el refugio se amplió. En 1989 se realizó una intensa restauración de la edificación, con el objeto de preservarla.

La edificación posee una estructura elevada en piedra con pisos de ladrillo y madera, está constituido por dos plantas, un ático y un piso parcialmente enterrado, Figura 51.

La cimentación existente se sitúa entre los 40 y 60 centímetros de profundidad y consiste en fragmentos de roca trabada con mortero. El muro tiene una anchura comprendida entre los 60 y los 100 cm.



**Figura 51.** Vista del refugio Europa en Vall di Vizze.

– **Patología: fisuras y asientos**

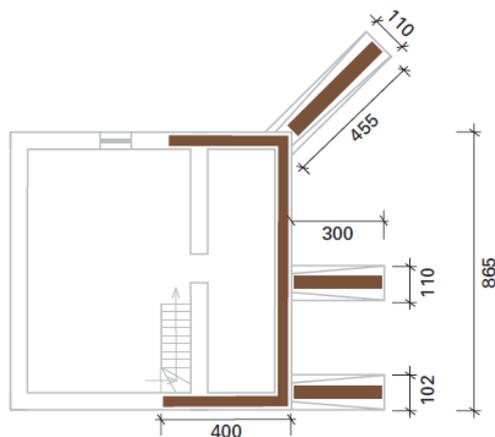
La renovación realizada en el año 1989 había puesto de relieve una serie de grietas, concentradas principalmente en el flanco oeste de la edificación. El tamaño máximo de las grietas, en el momento del estudio, era de 15,5 mm. Del análisis estas fisuras se dedujo que la causa de la patología habría que buscarla en la cimentación y contrafuertes.

– **Características geotécnicas del terreno de cimentación y conclusiones**

En el año 2003 se realizó un informe geotécnico que puso de manifiesto, en base a las labores de reconocimiento de campo, que el sustrato, a nivel de cimentación, está conformado por un macizo rocoso e naturaleza gnéissica, intensamente fracturado.

– **Intervención de consolidación**

Debido a la necesidad de adoptar medidas en el ámbito de la cimentación, como en algunas paredes y muros del refugio, se recurrió la tecnología Uretek Deep Injections®, utilizando la resina Geoplus®, con el fin de consolidar el terreno de apoyo de la cimentación, Figura 52.



**Figura 52.** Planta del refugio y zona de tratamiento.

De forma adicional, esta tecnología permite la mejora de cimentación sin afectar a los posibles restos arqueológicos existentes en la zona. Los muros fueron tratados con la tecnología Restoring®.

La intervención se ejecutó en dos fases:

- Fase I. Compactación superficial. Se concentró en el área de terreno inmediatamente por debajo de los cimientos, con el fin de mejorar las características geomecánicas y resistencia a la rotura frente a esfuerzos y rellenar los huecos existentes entre terreno y cimentación.
- Fase II. Consolidación en profundidad. Mediante inyecciones ejecutadas a diferentes niveles de profundidad en el volumen de terreno afectado por las cargas.

Durante el trabajo se realizó una monitorización del refugio, con el fin de detectar cualquier movimiento vertical de la estructura, mediante un nivel laser y varias dianas fijadas a la estructura, así como un control del volumen de resina inyectada y su presión de inyección

La intervención se realizó en un total de 5 días durante el mes de octubre de 2011.

### 8.3.3. Edificación y vial afectados por un karst. Alcalá de Ebro, Zaragoza (España).

#### – Historia de la edificación

La edificación, de reciente construcción, se localiza en la calle Camino de la Estación, en la localidad de Alcalá de Ebro de Zaragoza, Figura 53.



Figura 53. Vista de la edificación y de la dolina creada.

#### – Patología: fisuras y asientos

En el año 2013, se produjo un cuadro patológico en la edificación describiéndose la presencia de agrietamientos y fisuras de forma generalizada tanto en paramentos verticales como en solado

interior de la vivienda y local, cuyo origen estaba presuntamente vinculado con un hundimiento provocado por el colapso de una dolina con desarrollo vertical en la zona de actuación, comprometiendo seriamente la estabilidad de la zona en el tiempo.

Con fecha Abril de 2013, se realiza un estudio geotécnico preliminar y un seguimiento, con el propósito de determinar la evolución de la dinámica kárstica con el paso del tiempo hasta la actuación prevista.

#### – Características geotécnicas del terreno de cimentación y conclusiones

Durante las labores de reconocimiento de campo, fueron detectados dos niveles geotécnicos:

- Nivel I. Rellenos antrópicos. Presenta un espesor medio de 4,0 m., y constituye el nivel más superficial del área investigada y está conformado por dos subniveles más o menos bien diferenciados:
  - Entre 0 y 1,90 m. Soleras de vivienda y calles, rellenos de gravas, limos y arcillas con cascotes y echadizos (I-A).
  - Entre 1,90 y 4,0 m. Arcillas marrones con cantos, limos arcillosos y restos de antigua construcción (I-B).

El golpeo medio, obtenido en el ensayo de penetración dinámica DPSH, es de  $N = 2-3$ , valor que indica un deficiente estado de consolidación del relleno.

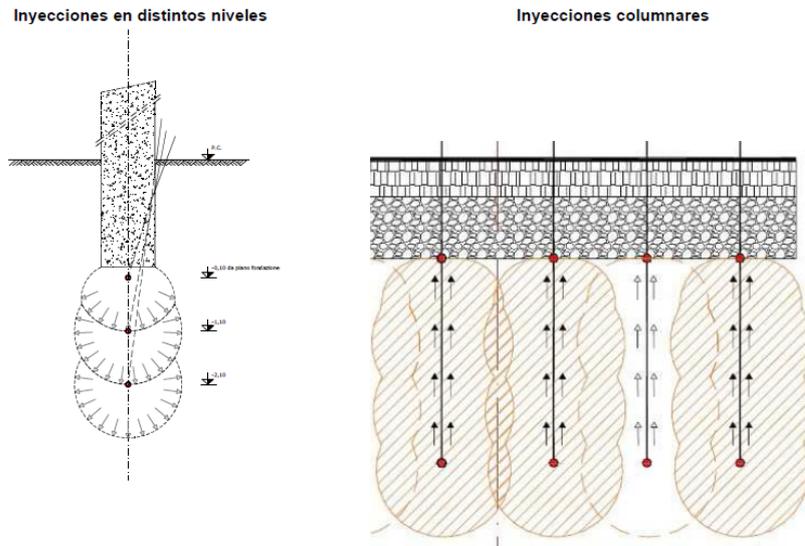
- Nivel II. Depósitos aluviales y llanura de inundación. Se desarrolla inmediatamente por debajo de los niveles de relleno y presenta un espesor de unos 5 m. Está conformado por arenas, arcillas marrones con cantos, niveles de gravillas y arenas con pasadas de grava. La resistencia a la penetración de esta unidad, presenta un golpeo medio de  $N = 14$  (DPSH), indicativo de un estado de compacidad (según las especificaciones del DB SE-C 2006), catalogable como media.

- Nivel III. Sustrato margo-yesífero mioceno. Este nivel aparece siempre por debajo del nivel aluvial, constituyendo el sustrato rocoso de la zona de estudio. Desde el punto de vista litológico, está conformado por arcillas grises con nódulos de yeso, y en profundidad, por una alternancia de yesos y margas arcillosas grises (III-B). La resistencia a la penetración de esta unidad es alta, presentando un golpeo medio del DPSH de  $N = 28$  a Rechazo en profundidad, indicativo de un estado de consistencia (según las especificaciones del DB SE-C 2006), catalogable como duro.

#### – Intervención de consolidación

Debido a la crítica situación de la edificación y vial lateral, fue planteado un tipo de intervención destinado a la mejora del terreno bajo cimentación, mediante la tecnología Uretek Deep Injections®, utilizando la resina Geoplus®. El objetivo era el de aumentar la capacidad portante del terreno de cimentación debajo de las zapatas de la edificación, de una forma rápida y eficiente.

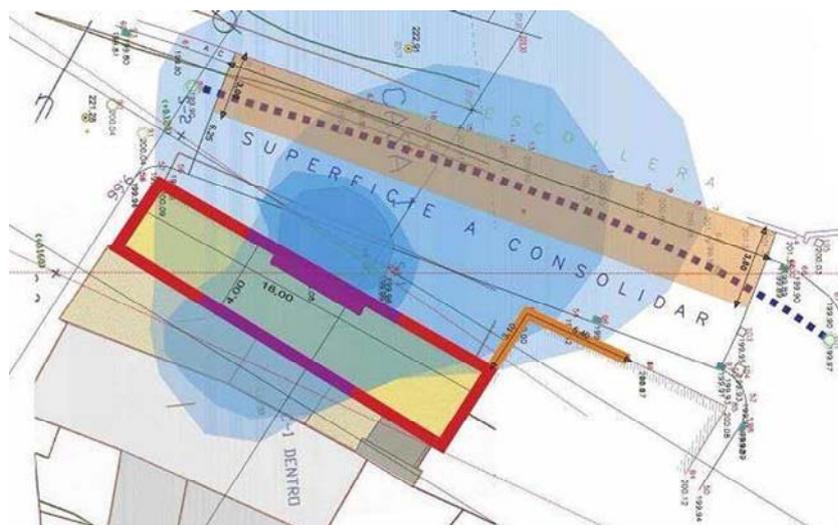
Para llevar cabo esta consolidación, se realizó una inyección por niveles distribuidos a diferentes profundidades “niveles” y un tratamiento de tipo “columnar”, consistente en la retirada del tubo de inyección del taladro, con velocidad controlada, durante la inyección por debajo del nivel de cimentación, Figura 54.



**Figura 54.** Secciones tipo de las dos modalidades de inyección realizadas.

Las perforaciones para la instalación de los tubos de inyección, realizadas a con taladros eléctricos a rotoperusión de diámetro de 26 mm, se han efectuado de la siguiente manera:

- Zona Vivienda y local. Se ha realizado una inyección en cinco niveles hasta 6 m de profundidad, atravesando la cimentación de forma longitudinal en las zapatas corridas y de forma perimetral a las zapatas aisladas, con perforaciones separadas cada 0,5-0,9 m.
- En la zona central de las fachadas largas de la vivienda. Se ha perforado hasta 7,0 m, debido a la presencia de gravas y bolos que han hecho imposible la introducción de los tubos de inyección mediante percusión. En la zona central de la fachada exterior que da a la calle, se han ejecutado perforaciones en ambas caras del muro (exterior e interior).
- Zona Vial. Se ha realizado la inyección en cuatro niveles hasta 5 m de profundidad, con una perforación por m<sup>2</sup>. De esta manera ha sido posible alcanzar, de forma precisa, todo el volumen definido para la consolidación, Figura 55.



**Figura 55.** Plano de la intervención realizada.

La intervención se realizó en un total de 10 días durante el mes de diciembre de 2013.

### 8.3.4. Basílica de San Cosme e Damiano. Via dei Fori Imperiali, Roma (Italia).

#### – Historia de la edificación

La basílica, situada en el Foro de Vespasiano, fue construida mediante la adaptación de unas cuantas habitaciones del Templo de la Paz, que se accede desde el lado del Foro Romano con un hall de entrada de planta circular, ya transformado por Majencio en un templo.

En 1632, el Papa Urbano VIII ordenó la restauración de la basílica. Las obras, proyectadas por Orazio Torriani y dirigida por Luigi Arrigucci, elevaron el nivel del piso siete metros, con lo que se iguala con el Campo Vaccino, evitando así la filtración de agua.

La planta de la iglesia fue diseñada de acuerdo con las reglas de la Contrarreforma, una sola nave con tres capillas a cada lado, y un gran ábside, restaurado en el siglo XVII, Figura 56.



**Figura 56.** Vista de la Basílica de San Cosme e Damiano.

En 1947, las restauraciones de los Foros Imperiales dieron una nueva estructura a la basílica. El lado izquierdo de la rampa de acceso a la basílica está construido por un muro que delimita la excavación del Foro Romano. La parte superior de este muro es de ladrillo, mientras que la parte inferior está conformada por una argamasa de bloques de piedra revestida por piedra ornamental.

#### – Patología: fisuras y asientos

Se produjo el hundimiento del muro de la rampa de acceso, posiblemente causado por la pérdida del revestimiento exterior del muro, quedando el núcleo expuesto y sin confinamiento lo que provocó su degradación, y por la existencia de asientos diferenciales debidos a la presencia de rellenos antrópicos en la cimentación.

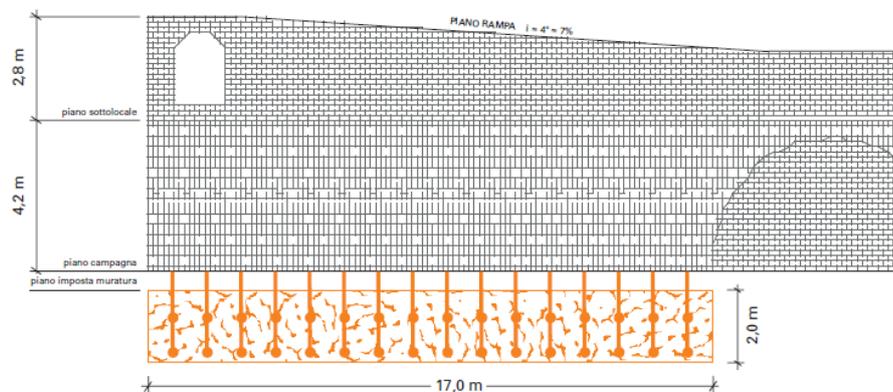
#### – Características geotécnicas del terreno de cimentación y conclusiones

En el año 2012 se realizó una campaña de investigación geotécnica. Durante las labores de reconocimiento de campo, se pudo observar la presencia de una cimentación, relativamente

reciente, a una profundidad comprendida entre los 0,3 a los 0,4 m de profundidad, que se apoya sobre rellenos de origen antrópico. A una profundidad comprendida entre los 1,6 a 2,4 m, respecto al nivel de calle, se descubrió la cimentación original del muro de la rampa de acceso.

### – Intervención de consolidación

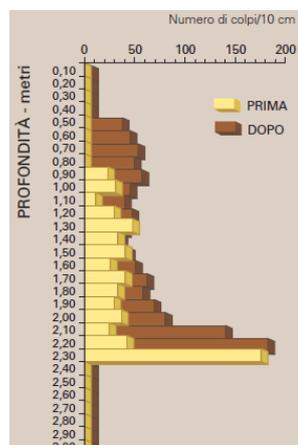
Debido a la situación del muro que delimita la excavación del Foro Romano, fue planteada un tipo de intervención destinado a la mejora del terreno de cimentación, mediante la tecnología Uretek Deep Injections®, utilizando la resina Geoplus®. Las perforaciones, destinadas a la inyección, fueron de 26 mm de diámetro y se realizaron a través de la mampostería hasta alcanzar una profundidad máxima de 2,0 m, con respecto a la superficie del terreno, Figura 57.



**Figura 57.** Planta de situación de la intervención.

El objetivo de esta intervención, fue el de mejorar las características geomecánicas del terreno a cota de apoyo de cimentación y rellenar los huecos macroscópicos presentes en la interfaz entre el terreno y la cimentación.

Se ha constatado la mejora del terreno después de la intervención mediante la realización de ensayos de penetración dinámica realizados antes y después de la intervención. De su análisis se deduce una significativa mejora de las características geotécnicas, figura 58.



**Figura 58.** Ensayo penetrométrico realizado antes y después de la intervención.

La intervención se realizó en un total de 6 días durante el mes de junio de 2012.

### 8.3.5. Consolidación del apoyo de un gaseoducto. Valdespartera, Zaragoza (España).

#### – Antecedentes

En el año 2011 se detectan, en superficie de un vial de acceso a la zona de Valdespartera, que constituye una de las mayores zonas de expansión de la ciudad de Zaragoza, agrietamientos y hundimientos en la calzada del vial.

#### – Patología: fisuras y asientos

Estos agrietamientos y hundimientos en la calzada del vial se desarrollan a lo largo de la traza de un gaseoducto que transcurre por la zona. Su origen está presuntamente vinculado a un asiento del terreno sobre el que pasa el gaseoducto, pudiendo comprometer seriamente la estabilidad del gaseoducto y la consiguiente interrupción del servicio que presta.

#### – Características geotécnicas del terreno de cimentación y conclusiones

Por los datos aportados en el reconocimiento del terreno realizado, la traza del gaseoducto discurre por un vertido de origen antrópico que relleno la excavación de una cantera de dicada a la explotación de yesos. Este relleno se llevó a cabo entre los años 1999 y 2002.

Esta cantera fue empleada como vertedero de materiales procedentes de la construcción de la autovía A-23 a la ciudad de Zaragoza y de la Z-40, produciéndose la colmatación de la zona de cantera, así como las zonas limítrofes.

#### – Intervención de consolidación

Debido al tipo de servicio afectado, fue planteada un tipo de intervención destinado a la mejora del terreno, mediante la tecnología Uretek Deep Injections®, utilizando la resina Geoplus®, en el terreno de apoyo del gaseoducto.

La intervención de consolidación se ha efectuado en una extensión de 60 metros lineales bajo el gaseoducto, entre los PK 0+140 y PK 0+200, Figura 59.

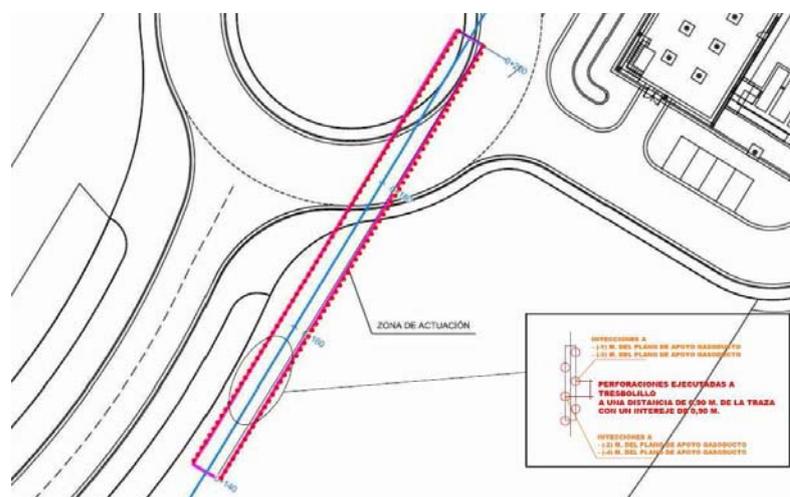
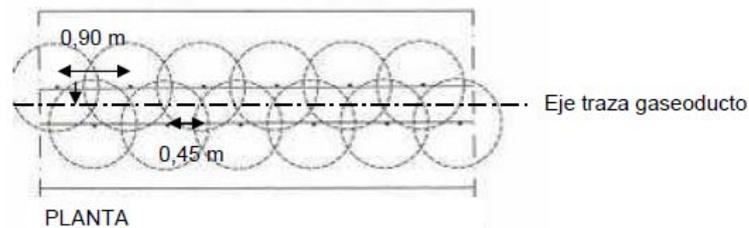


Figura 59. Planta de la intervención.

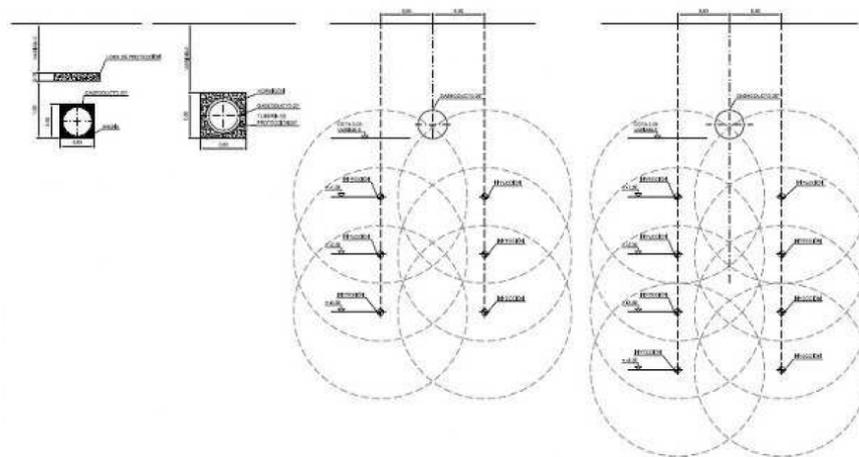
Con esta intervención se pretendía rellenar los huecos existentes, bien directamente por la expansión de la resina, o bien, desplazando el terreno, y aumentar la capacidad portante del terreno de cimentación bajo del gaseoducto.

Las perforaciones, de diámetro de 26 mm, fueron ejecutadas a 0,90 m del eje de la traza del gaseoducto, y se intercalaron a distancias regulares de aproximadamente 0,90 m a ambos lados de la conducción en sendas alineaciones (0,45 m entre perforaciones de distinta alineación), Figura 60.



**Figura 60.** Distribución de los puntos de inyección.

En estas perforaciones se colocaron los tubos de inyección, que se situaron a diferentes niveles de profundidad. De esta manera es posible alcanzar el terreno a tratar y localizar con precisión el efecto de las inyecciones que, fueron aplicadas en primer lugar inyectando el material en los niveles más superficiales, y posteriormente en los niveles más profundos, Figura 61.



**Figura 61.** Niveles de inyección.

El empleo de instrumentos de nivelación láser ha permitido monitorear, en tiempo real, la intervención, asegurando la ausencia completa de movimientos del gaseoducto durante la inyección.

De forma adicional, se ha llevado a cabo un estudio de la efectividad de la intervención realizada mediante la ejecución de ensayos de penetración dinámica (DPSH) y georadar, antes y después de la intervención. Todas las pruebas de contraste realizadas han sido satisfactorias, demostrando la efectividad de la intervención en los términos inicialmente definidos.

La intervención se realizó en un total de 8 días durante el mes de mayo de 2013.

## 9. PROPIEDAD INDUSTRIAL. PATENTES, MARCAS REGISTRADAS Y MODELOS DE UTILIDAD

La propiedad industrial constituye un conjunto de derechos que puede poseer una persona física o jurídica sobre una invención (patente, modelo de utilidad, topografía de productos semiconductores, certificados complementarios de protección de medicamentos y productos fitosanitarios), un diseño industrial, un signo distintivo (marca o nombre comercial), etc.

Esta figura otorga dos tipos de derechos: en primer lugar el derecho a utilizar la invención, diseño o signo distintivo, y en segundo lugar el derecho a prohibir que un tercero lo haga.

En España existen varios tipos de derechos de Propiedad Industrial:

- Diseños industriales: protegen la apariencia externa de los productos. Regulados por la Ley 20/2003, de 7 de julio, de protección jurídica del diseño industrial.
- Marcas y Nombres Comerciales (Signos Distintivos): protegen combinaciones gráficas o denominativas que ayudan a distinguir en el mercado unos productos o servicios de otros similares ofertados por otros agentes económicos. Regulados por la Ley 17/2001 de 7 de diciembre de marcas.
- Patentes y modelos de utilidad: protegen invenciones consistentes en productos y procedimientos susceptibles de reproducción y reiteración con fines industriales. Regulados por la Ley 11/86 de 20 de marzo, de patentes de invención y modelos de utilidad.

Los derechos de Propiedad Industrial permiten a quien los ostenta decidir quién puede usarlos y cómo puede usarlos. Dichos derechos se otorgan mediante un procedimiento por el organismo competente (en España la Oficina Española de Patentes y Marcas) y la protección que dispensan se extiende a todo el territorio nacional.

El medio de comunicación oficial de los actos administrativos (solicitudes, notificaciones y resoluciones) relacionados con las distintas modalidades de propiedad industrial se editan diariamente por la Oficina Española de Patentes y Marcas ([www.oepm.es](http://www.oepm.es)) en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial (<http://www.oepm.es/bopiweb/index.htm>).

A continuación se enuncian los títulos de propiedad industrial encontrados en la literatura referente a la inyección de resina de poliuretano expandido, tanto a nivel nacional como internacional: patentes, marcas registradas y modelos de utilidad de Uretek.

### 9.1. Patentes Uretek.

Según el artículo 4 de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes, son patentables las invenciones nuevas que impliquen una actividad inventiva y sean susceptibles de aplicación

industrial. No se considerarán invenciones en el sentido del apartado anterior, en particular los siguientes:

- a) Los descubrimientos, las teorías científicas y los métodos matemáticos.
- b) Las obras literarias o artísticas o cualquier otra creación estética, así como las obras científicas.
- c) Los planes, reglas y métodos para el ejercicio de actividades intelectuales, para juegos o para actividades económico-comerciales, así como los programas de ordenadores.
- d) Las formas de presentar informaciones.

En el ámbito de la inyección de resina y, más específicamente en el campo de la resina de poliuretano expandido, se han encontrado las siguientes patentes nacionales, europeas e internacionales:

***Patente europea (EPO): N° 0 851 064***

***Método para aumentar la capacidad portante del terreno de cimentación para edificación. (Uretek).***

Se trata de un sistema de inyección profunda en el terreno, a través de perforaciones, de una sustancia “resina”, que se expande como consecuencia de la reacción química de sus componentes. La expansión de esta resina inyectada en el terreno produce una compactación del suelo circundante al punto de inyección. Esta tecnología está protegida por la siguiente patente europea.

**Patente Europea (European Patent Office)**

<b>Título: Método para aumentar la capacidad portante del terreno de cimentación para edificación.</b>	
<b>Tipo de patente:</b>	<b>Patente Europea (EPO)</b>
<b>Titular:</b>	<b>Uretek S.r.l.</b>
<b>Inventor/es:</b>	<b>Canteri, Carlo</b>
<b>Fecha de presentación:</b>	<b>18/03/1997</b>
<b>Fecha de publicación:</b>	<b>01/07/1998</b>
<b>Patente Europea N°:</b>	<b>0 851 064</b>

La reacción química procedente de la mezcla provoca un cambio del estado de la resina, que pasa de líquido a sólido, y un fuerte aumento del volumen en muy pocos segundos; la resina se transforma rápidamente en un material muy resistente.

Las inyecciones se ejecutan cuando la resina se encuentra todavía al estado líquido, pero ya en fase de expansión: en pocos segundos incrementa su propio volumen hasta 30 veces y desarrolla una presión de expansión que puede llegar hasta 10.000 kPa, dependiendo de la resistencia que encuentra.

Datos operativos de la inyección:

- Diámetro de perforación: < 30 mm
- Distancia máxima entre el camión taller y el lugar de intervención: 80 m
- Profundidad máxima del tratamiento: 15 m
- Intereje entre las inyecciones: 50 - 150 cm

La expansión de la resina continúa hasta que el terreno impide una compresión radial suplementaria. En ese preciso momento, la única posibilidad de expansión se traduce en un desplazamiento del terreno hacia arriba.

En esta fase, el levantamiento del edificio indica que la resina ha rellenado el conjunto de los huecos y compactado el suelo de forma óptima. El tratamiento se adapta así perfectamente a la disminución de carga del edificio.

### ***Solicitud de Patente europea (EPO): N° 1 314 824***

### ***Método para la consolidación de suelos o levantamiento de estructuras con presiones mayores de 500 kPa. (Uretek).***

La consolidación de suelos o levantamiento de estructuras grandes y pesadas requiere la aplicación de presiones elevadas. Estas presiones se consiguen con la inyección en el terreno a consolidar o en las estructuras a levantar, de un material “resina” que puede generar, durante su expansión, presiones mayores de 500 kPa. Uretek ha presentado solicitud de patente europea para esta resina.

#### **Solicitud de Patente Europea (European Patent Office)**

Título: Método para la consolidación de suelos o levantamiento de estructuras con presiones mayores de 500 kPa.	
Tipo de patente:	Patente Europea (EPO)
Titular:	Uretek S.r.l.
Inventor/es:	Canteri, Carlo
Fecha de presentación:	26/11/2002
Fecha de publicación:	28/05/2003
Petición Patente Europea N°:	1 314 824

La reacción química procedente de la mezcla provoca un cambio del estado de la resina, que pasa de líquido a sólido y un fuerte aumento del volumen en muy pocos segundos; la resina se transforma rápidamente en un material muy resistente.

La rapidez de la reacción de expansión y solidificación no deja que la resina se aleje más de 2 metros del punto de inyección y permite que quede limitado al bulbo de presión.

La expansión de la resina continúa hasta que el terreno tratado resulta tan compactado que rechaza una ulterior compresión, y hace que la resina se expanda hacia arriba causando el levantamiento del edificio.

## **9.2. Marcas registradas Uretek.**

La marca y el nombre comercial son signos distintivos que se protegen mediante títulos otorgados por el Estado y que confieren a su titular el derecho exclusivo de utilizarlos en el tráfico económico, e impedir a otros la utilización de los signos distintivos protegidos u otros idénticos o similares aplicados a productos o servicios idénticos o semejantes.

La marca es un signo que permite a los empresarios distinguir sus productos o servicios frente a los productos o servicios de los competidores.

En el campo de las inyecciones de resina de poliuretano expandido, sin duda una de las empresas más activas ha sido Uretek, que en los últimos años ha desarrollado las siguientes marcas registradas.

### ***Uretek Deep Injections® Uretek***

#### ***Sistema de consolidación de suelos de cimentación mediante la inyección de resinas expansivas especiales.***

Es un sistema de inyección en el terreno, a través de perforaciones, de una “resina de poliuretano de última generación”, que se expande como consecuencia de la reacción química de sus dos componentes.

Las perforaciones, de un diámetro inferior a 3 cm, se ejecutan directamente al nivel de la cimentación, para alcanzar con precisión el volumen de terreno a tratar. La distancia entre las perforaciones puede variar en función del edificio y el tipo de suelo. Las perforaciones se utilizan para introducir tubos de cobre que permiten dirigir la resina directamente en el suelo a tratar.

La reacción química procedente de la mezcla de los dos componentes provoca un cambio del estado de la resina, que pasa de líquido a sólido, y un fuerte aumento del volumen en muy pocos segundos, transformándose rápidamente en un material muy resistente. La expansión produce una compactación del suelo circundante al punto de inyección, Figura 62.



**Figura 62.** Uretek Deep Injections®.

Las inyecciones se ejecutan cuando la resina se encuentra todavía al estado líquido, pero ya en fase de expansión: en pocos segundos incrementa su propio volumen hasta 30 veces y desarrolla una presión de expansión que puede llegar hasta 10.000 kPa, dependiendo de la resistencia que encuentra.

La expansión de la resina continúa hasta que el terreno impide una compresión radial suplementaria. En ese preciso momento, la única posibilidad de expansión se traduce en un desplazamiento del terreno hacia arriba.

En esta fase, el levantamiento del edificio indica que la resina ha rellenado el conjunto de los huecos y compactado el suelo de forma óptima. El tratamiento se adapta así perfectamente a la disminución de carga del edificio.

### **Geoplus® Uretek**

***Resina de elevada fuerza expansiva (presiones mayores de 500 kPa) para la consolidación de suelos mediante inyección.***

Geoplus® es una resina que se obtiene mediante la mezcla de dos componentes. La consolidación de suelos o levantamiento de estructuras grandes y pesadas requiere la aplicación de presiones elevadas. Estas presiones se consiguen con la inyección en el terreno a consolidar o en las estructuras a levantar, de la resina Geoplus®, que puede generar, durante su expansión, presiones mayores de 500 kPa.

La reacción química procedente de la mezcla provoca un cambio del estado de la resina, que pasa de líquido a sólido y un fuerte aumento del volumen en muy pocos segundos, transformándose rápidamente en un material muy resistente, Figura 63.



**Figura 63.** Fases de expansión de la Resina Geoplus® Uretek.

La rapidez de la reacción de expansión y solidificación no deja que la resina se aleje más de 2 metros del punto de inyección.

Las características técnicas de la resina Geoplus® son las siguientes:

- Elevada presión de expansión 10.000 kPa (100 kg/cm<sup>2</sup>)
- Tiempo de reacción muy bajo
- Elevado grado de expansión (de 2 a 20 veces)
- Módulo de elasticidad similar al del terreno 10 ÷ 180 MPa de cimentación (100 ÷ 1.800 kg/cm<sup>2</sup>)
- Densidad variable 1 ÷ 3 kN/m<sup>3</sup> con el grado de expansión (100 ÷ 300 kg/m<sup>3</sup>)

Uretek tiene, desde 2008, la Certificación UNI EN ISO 9001:2000 (Nº 50 100 7969) para la realización de proyectos y obras de consolidación de suelos de cimentación mediante inyecciones de resina expansiva Geoplus®.

### ***Floor Lift® Uretek***

#### ***Inyecciones de resina expansiva debajo de los pavimentos.***

Floor Lift® es una tecnología utilizada para resolver los problemas de hundimiento de pavimentos, permitiendo también aumentar la capacidad de carga del suelo de apoyo. El levantamiento del pavimento se obtiene por efecto de la expansión de la resina Geoplus®, inyectada entre el terreno y el pavimento.

En la evaluación de los asentamientos de los pavimentos, por lo general sólo se considera las estructuras de la superficie, dejando de lado el fondo. Los huecos en el terreno de apoyo de los pavimentos, provocan el hundimiento, asentos, grietas y roturas en las juntas.

Esto sucede no sólo en pavimentos de locales comerciales o de almacenes, sino también en pavimentos industriales o pistas aeroportuarias, Figura 64.



**Figura 64.** Tecnología Floor Lift® Uretek.

Esta tecnología se ejecuta realizando perforaciones de 12-6 mm en el pavimento, dispuestas en una cuadrícula regular. A través de tubos de metal, alojados en dichas perforaciones, se inyecta la resina expansiva que, al no encontrar la posibilidad de expandirse en el fondo, comienza a elevar el pavimento.

El levantamiento se controla con un sistema de seguimiento por láser. La precisión de este sistema permite obtener una precisión de hasta la décima de milímetro.

### *Cavity filling® Uretek*

#### *Relleno completo y puesta en tensión de cavidades subterráneas.*

La tecnología consiste en rellenar una cavidad subterránea a través de bombeo de arcilla expansiva Leca® con granulometría controlada y sucesiva inyección de resina expansiva Geoplus® con elevada fuerza de expansión, con el objetivo de saturar el volumen interior, compactar los gránulos que constituyen el relleno y lograr un prefijado valor de precompresión en las paredes, Figura 65.



**Fase 1.** Relleno de la cavidad con arcilla expansiva Leca®



**Fase 2.** Inyección de resina de poliuretano expandente Geoplus®



**Fase 3.** Expansión de la resina Geoplus® y precompresión de la bóveda de la caverna

**Figura 65.** Fases de ejecución de la tecnología Cavity filling® Uretek.

El relleno que produce la arcilla expandida Leca® evita que se produzcan derrumbes en la superficie, debidos a colapsos imprevistos de las paredes de la cavidad (evaluación del estado límite último), mientras la pre-compresión inducida por la resina expansiva evita que se verifiquen hundimientos de la superficie debidos a simples deformaciones de las paredes mismas (evaluación del estado límite de ejercicio). La acción combinada de los dos materiales permite la completa solución del problema.

Las características técnicas de la arcilla expandida Leca®, para uso geotécnico, son las siguientes:

- Densidad del material (UNI EN 13055-1)  $\leq 4,5 \text{ kN/m}^3$  (450  $\text{kg/m}^3$ )
- Angulo de fricción  $\cong 40^\circ$
- Absorción de agua (UNI EN 13055-1)  $< 75\%$
- Módulo de deformabilidad (Md con DR  $> 80\%$ )  $\leq 25 \text{ MPa}$  (250  $\text{kg/cm}^2$ )
- Resistencia de los granos a la trituración (UNI EN 13055-1)  $> 1.300 \text{ kPa}$  ( $>13 \text{ kg/cm}^2$ ).

### 9.3. Modelos de utilidad Uretek.

El Modelo de Utilidad protege invenciones con menor rango inventivo que las protegidas por Patentes, consistentes, por ejemplo, en dar a un objeto una configuración o estructura de la que se derive alguna utilidad o ventaja práctica.

El dispositivo, instrumento o herramienta susceptible de protección por el Modelo de Utilidad se caracteriza por su "utilidad" y "practicidad" y no por su "estética" como ocurre en el diseño industrial. El alcance de la protección de un Modelo de Utilidad es similar al conferido por la Patente. La duración del Modelo de Utilidad es de diez años desde la presentación de la solicitud. Para el mantenimiento del derecho es preciso el pago de tasas anuales.

No se han encontrado modelos de utilidad en la Oficina Española de Patentes y Marcas ([www.OEPM.es](http://www.OEPM.es)).

## 10. RESUMEN Y CONCLUSIONES.

El presente informe ha pretendido aunar, en un único documento, los conocimientos básicos necesarios sobre la tecnología Uretek Deep Injections®, para poder abordar el proyecto de investigación propuesto “Investigación del método de inyección de resina de poliuretano expandido en diferentes tipos de suelos”.

La tecnología Uretek Deep Injections® permite inyectar en el terreno, a diferentes profundidades, una resina de poliuretano expandido especial de última generación, Geoplus®, marca registrada por Uretek, a través de perforaciones de pequeño diámetro, causando la mínima alteración a las estructuras y al terreno suprayacente, resolviendo cualquier problema relacionado con la capacidad de carga del terreno bajo cimentación.

Dado el carácter de la investigación, se han tratado conceptos básicos relacionados el conocimiento de la resina Geoplus®, con los fundamentos de la inyección profunda en el terreno de la resina, con su comportamiento en los diferentes tipos de terreno, con su diseño y dimensionamiento, con su instrumentación y control, etc.

Afirmados los conocimientos básicos, se ha realizado un exhaustivo estudio del estado actual del conocimiento sobre la inyección de resina de poliuretano expandido Geoplus®.

Se ofrece además una sucinta recopilación de algunas de las actuaciones realizadas en Europa con la tecnología de inyección profunda en el terreno con resina de poliuretano expandido Geoplus®.

Las características de estado y al comportamiento mecánico de la resina de poliuretano expandido Geoplus®, están perfectamente definidas y testadas gracias al profundo conocimiento que se tiene de ella, fruto de los ensayos de laboratorio y pruebas de campo realizadas por prestigiosos laboratorios, entre los que cabe destacar:

- Laboratorio del Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima, Ambiental y Geotécnica de la Universidad de Padua, Italia.
- Laboratorio de Geotecnia de la Fundación FDOT SMO, Canadá.
- Laboratorio de Geotecnia del Instituto IFB Gauer, Alemania.

Del análisis de los resultados obtenidos se desprenden interesantes conclusiones que aportan valores de las principales características mecánicas de la resina. Las características más concluyentes del comportamiento mecánico de la resina son:

- **Presión de expansión:** la presión de expansión máxima de la mezcla bicomponente es de hasta 10.000 kPa y disminuye al aumentar el grado de expansión, hasta alcanzar un estado de equilibrio en el terreno.
- **Grado de expansión:** el grado de expansión, en función de la resistencia del terreno, está comprendido entre el 200 y 2000 % del volumen inicial inyectado.

- **Resistencia mecánica:** la resistencia mecánica de la resina expandida y endurecida depende del grado de expansión. Para pesos específicos entre 0,5 y 3,3 kN/m<sup>3</sup> se han determinado valores de resistencia de 0,2 a 6,0 MPa.
- **Módulo de elasticidad:** el módulo de elasticidad calculado, en función de una deformación vertical de 1 %, varía entre 10 y 90 MPa.
- **Peso específico:** el peso específico de la resina inyectada depende del grado de expansión y está comprendido entre 150 y 300 kg/m<sup>3</sup>.
- **Permeabilidad:** la resina expandida y endurecida posee un coeficiente de permeabilidad de 10-8 m/s. Este valor corresponde a la permeabilidad de un terreno arcilloso. En los terrenos de estructura granular la resina reduce la permeabilidad e impide la aparición de fenómenos de erosión mecánica por dispersión y disolución (tubificación).

En cuanto a las características químicas y medioambientales de la resina Geoplus®, han sido igualmente definidas por prestigiosos laboratorios de Universidades e Institutos de Investigación europeos, entre los que caben destacar:

- Ruhrgebiets Hygiene-Institute de Gelsenkirchen, Alemania.
- SOCOTEC, Francia.
- Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima, Ambiental y Geotécnica de la Universidad de Padua, Italia.

Los ensayos realizados se han centrado en conocimiento de las características químicas, la toxicidad, la resistencia a la colonización de hongos y bacterias, resistencia a la agresión química y se concluye con el comportamiento medioambiental de la resina en los diferentes tipos de usos de suelos receptores del tratamiento, de acuerdo con la normativa vigente en cada uno de los países de referencia del laboratorio.

Se ha realizado un estudio comparativo de los resultados obtenidos en los laboratorios referenciados con los valores genéricos de referencia establecidos en la normativa española. Este estudio concluye que todas las concentraciones están por debajo de los valores límite establecidos por la Orden 761/2007, de 2 de abril, de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid, como la más restrictiva del Estado Español. En consecuencia, la resina de poliuretano expandido Geoplus® cumple con los estándares vigentes en materia de medio ambiente en el Estado Español.

La durabilidad de la resina Geoplus® es un aspecto de su comportamiento que siempre hay que considerar. Se entiende como durabilidad la capacidad de mantener sin cambios sus propiedades a lo largo del tiempo, bajo la influencia de acciones previsibles, de acuerdo con la Directiva sobre materiales de Construcción 89/106/CEE (2004). Las investigaciones destinadas a determinar de la durabilidad se han realizado en prestigiosos laboratorios alemanes:

- Instituto de Investigación für Wärmeschutz eV (FIW, Munich), Alemania.
- Laboratorio de Geotecnia de la Universidad de Duisburg-Essen, Alemania.

Los resultados obtenidos, muestran que 28 años después de la aplicación, el material permanece completamente funcional y conserva sus características iniciales inalteradas. A partir de esta información, han podido establecer una vida mínima de 35 años. El ensayo de envejecimiento acelerado no mostró ninguna pérdida significativa de propiedades. Basándose en estos resultados, se espera que la vida de la resina Geoplus® pueda exceder los de los 60 años.

## 11. BIBLIOGRAFÍA.

AMBRASEYS, N.N., (1988). Engineering seismology, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 17, 1-105.

ASTM G21-96. Standard Practice for Determining Resistance of Synthetic Polymeric Materials to Fungi.

ASTM G22-76, (1996). Standard Practice for Determining Resistance of Plastics to Bacteria.

ASTM D 1621-04a. Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Cellular Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM 6066-96, (2004). Standard Practice for Determining the Normalized Penetration Resistance of Sands for Evaluation of Liquefaction Potential, ASTM International, West Conshohocken, PA, [www.astm.org](http://www.astm.org).

BAYER MATERIALSCIENCE, (2008). Technical Data Sheet – Polyurethane Foam Grout, December 2008.

BEZUIJEN, A., TE GROTENHUIS, R., VAN TOL, A.F., BOSCH, J.W., y HAASNOOT, J.K., (2011). Analytical model for fracture grouting in sand, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 137, No. 6, 611-620.

BUZZI, O., FITYUS, S., y SLOAN, S., (2010). Use of expanding polyurethane resin to remediate expansive soil foundations, Canadian Geotechnical Journal, 47, 623-634.

BUZZI, O., FITYUS, S., SASAKI, Y., y SLOAN, S., (2008). Structure and properties of expanding polyurethane foam in the context of foundation remediation in expansive soil, Mechanics of Materials, 40, 1012-1021.

CAMBEFORT H., (1964). Injection des sols – Tome 1: Principes et méthodes.

CANTERI, C., (1998). Method for increasing the bearing capacity of foundation soils for buildings. European Patent Specification, EP 0 851 064 B1.

CARTER, J.P., BOOKER, J.R., y YEUNG, S.K., (1986). Cavity expansion in cohesive frictional soils, Geotechnique, 36, No. 3, 349-358.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. DOCUMENTO BÁSICO. SEGURIDAD ESTRUCTURAL–CIMENTOS., (2006).

CUI Y.J., y DELAGE P., (2003). Sols non saturés. Applications au calcul des ouvrages.

DAVIS, R.O., y SELVADURAI, A.P.S., (2002). Geomechanics and plasticity. Cambridge University Press, Cambridge.

DEI SVALDI, A., FAVARETTI, M., PASQUETTO, A., y VINCO, G., (2005). Modellazione analitica del miglioramento del terreno attraverso iniezioni di resina ad alta pressione d'espansione, 6th International Conference on Ground Improvement Techniques, Coimbra, Portugal, 18-19 July 2005, pp. 577-584.

DOMINIJANNI A., MANASSERO M., (2014). Consolidamento dei terreni con resine espandenti. Guida alla progettazione.

EN 1998-1, (2005), EUROCODICE 8 (EC8) "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici", UNI EN 1998-1, Marzo 2005.

EN 1998-5, (2005), EUROCODICE 8 (EC8) "Progettazione delle strutture per la resistenza sismica. Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici", UNI EN 1998-5, Gennaio 2005.

ERDEMGIL M., SAGLAM S., BAKIR B.S., (2007). Utilization of Highly Expansive Polymer Injection to Mitigate Seismic Foundation Failure for Existing Structures. 8th Pacific Conference on Earthquake Engineering.

FANG, H.Y., (1994). Cracking and fracture behavior of soil, in Vallejo, L.E., e Liang, R.Y., (Eds.), Fracture mechanics applied to geotechnical engineering, American Society of Civil Engineers, New York.

FAURE, N., ORSETTI, V., (2015). Reduction de la permeabilite des sols argileux apres injections de resine expansive de polyurethane. Symposium International Sécheresse et Construction (SEC) 2015.

FAVARETTI, M., GERMANINO, G., PASQUETTO, A., y VINCO, G., (2004). Interventi di consolidamento dei terreni di fondazione di una torre campanaria con iniezioni di resina ad alta pressione d'espansione, Atti del XXII Convegno Nazionale di Geotecnica, Palermo, Italy, 22-24 September 2004. Associazione Geotecnica Italiana, Roma, 1-19, pp. 357-364.

FOTI, S., y MANASSERO, M., (2009). Rinforzo e adeguamento delle fondazioni per sollecitazioni statiche e dinamiche, Atti delle Conferenze di Geotecnica di Torino, XXII Ciclo, Torino, Italy, 18-19 Novembre 2009.

GABASSI M., MANSUETO F., PASQUETTO A., y VINCO G., (2007). Modellazione numerica di un intervento di consolidamento del terreno di fondazione di un palazzo storico sito in rue Joseph de Maistre sulla collina di Montmartre in Parigi realizzato con iniezioni di resina poliuretana ad alta pressione d'espansione, XXIII Convegno Nazionale di Geotecnica.

GABASSI, M., PASQUETTO A., VINCO, G., y MASELLA, A. (2011). Consolidamento del terreno di fondazione del palazzo di Punta della Dogana in Venezia realizzato con iniezioni di

resina poliuretánica. Atti del XXIV Convegno Nazionale di geotecnica, Napoli, Italy, 22-24 Giugno 2011, Edizioni AGI, Roma, 457-463.

GRIFFITH, A.A., (1920). Philosophical Transactions, Series A, Vol. 221, 163-198.

GUERRA C., PASQUETTO A., GABASSI M., y VINCO G., (2008). Consolidation du sol par injection de résine polyuréthane, afin d'atténuer le gonflement et le retrait des sols argileux. Symposium international sécheresse et constructions - SEC 2008, pp 343-348.

HARRIS, D. I., MAIR, R. J., LOVE, J. P., TAYLOR, R. N., y HENDERSON, T.O., (1994). Observations of ground and structure movements for compensation grouting during tunnel construction at Waterloo Station. Géotechnique, Vol. 44, No. 4, 691-713.

HARRIS, D. I., MENKTI, C. O., POOLEY, A. J., y STEPHENSON, J. A., (1996). Construction of low-level tunnels below Waterloo Station with compensation grouting for the Jubilee Line Extension. Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Mair & Taylor (eds), 1996 Balkema, Rotterdam. ISBN 90 5410 856 8.

HARRIS, D., (2001). Protective measures, Chapter 11 in: Building response to tunnelling – case studies from construction of the Jubilee Line Extension, London, Vol.1 Projects and Methods. Thomas Telford, London, 135-176.

HARRIS, D., (2001). The Big Ben Clock Tower and the Palace of Westminster, Chapter 28 in: Building response to tunnelling. Case studies from construction of the Jubilee Line Extension, London, Vol. 2 Case studies. Thomas Telford, London, 453-508.

HELLMEIER P., SORANZO E., WU W., NIEDERBRUCKER R., y PASQUETTO A., (2011). An experimental investigation into the performance of polyurethane grouting in soil.

IRWIN, G.R., (1948). Fracturing of metals, American Society for Metals, Cleveland.

ISHIHARA, K., (1993). Liquefaction and flow failure during earthquakes, Géotechnique, 43, No. 3, 351-415.

IWASAKI, T. TOKIDA, K., TATSUOKA, F., WATANABE, S., YASUDA, S., y SATO, H., (1982). Microzonation for soil liquefaction using simplified methods, Proceedings 3rd Int. Conf. on Microzonation, Seattle, 885-896.

IWASAKI, T., TATSUOKA, F., TOKIDA, K., y YASUDA, S., (1978). A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various site in Japan, Proceedings 2nd Int. Conf. on Microzonation, San Francisco, 885-896.

JAWORSKI, G.W., DUNCAN, J.M., y SEED, H.B., (1981). Laboratory study of hydraulic fracturing, Journal of ASCE Geotechnical Engineering Division, Vol. 107, No. GT6, 713-732.

KRAMER, S.L., (1996). Geotechnical earthquake engineering, Prentice Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics, New York.

LAI, C.G., FOTI, S., y ROTA, M., (2009). Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione, IUSS Press, Pavia.

LANCELLOTTA, R., (2004). Geotecnica – 3° ed, Zanichelli, Bologna.

MAIORANO, R.M.S., AVERSA, S., (2004). Modellazione numerica degli effetti prodotti da iniezioni espandenti al di sotto delle fondazioni di edifici in muratura. Atti XXII Convegno Nazionale di Geotecnica, Palermo 2004, pp. 389-393

MAIR, R. J., (2008). Tunnelling and geotechnics: new horizons. 46th Rankine Lecture, Géotechnique 58, No, 9, 695-736.

MAIR, R. J., y TAYLOR, R. N., (1997). Bored tunnelling in the urban environment. State-of-the-art Report and Theme Lecture. Proceedings of 14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Hamburg, Balkema, Vol. 4., 2353-2385.

MAIR, R. J., HARRIS, D. I., LOVE, J. P., BLAKEY, D., y KETTLE, C., (1994). Compensation grouting to limit settlements during tunnelling at Waterloo Station. Proceedings of Conference Tunnelling '94, London, Institution of Mining and Metallurgy, 279-300, Chapman and Hall.

MAIR, R.J., VIGGIANI, G., y MENKITI, C.O., (2009). Reduction and control of surface settlement induced by shallow and deep excavations. Atti delle Conferenze di Geotecnica di Torino, XXII Ciclo, Torino, Italy, 18-19 Novembre 2009.

MENARD L., (1957). Mesures in situ des propriétés physiques des sols, Annales des Ponts et Chaussées N°14, 357-377.

MITCHELL, J.K., y SOGA, K., (2005). Fundamentals of soil behavior, Wiley, Hoboken, New Jersey.

NF EN 12715, (2000). Exécution des travaux géotechniques spéciaux. Injection, d'octobre 2000.

NF EN 12457-2, (2002). Caractérisation des déchets - Lixiviation - Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues - Partie 2 : essai en bûchée unique avec un rapport liquide-solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 4 mm (sans ou avec réduction de la granularité), de décembre 2002.

NF EN 1997-1, (2005). EUROCODE 7. Calcul géotechnique – Partie 1 : Règles générales.

NTC08, (2008), “Norme tecnica per le costruzioni”, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008, Supplemento ordinario alla G.U. n.29 del 4 febbraio 2008.

ORSETTI V., y ROSA B., (2011). Chantier expérimental d'injection. Mesures de perméabilité.

PANAH, A.K., y YANAGISAWA, E., (1989). Laboratory studies on hydraulic fracturing criteria in soil, *Soils and Foundations*, Vol. 129, No. 4, 14-22.

PASQUETTO, A., GABASSI, M., VINCO, G., y GUERRA, C., (2008). Consolidamento del terreno mediante l'iniezione di resine poliuretatiche per l'attenuazione del rigonfiamento e del ritiro di terreni argillosi. *Proceedings of SEC 2008 – Symposium International Sécheresse et Constructions*, Parigi, France, 1-7 Settembre 2008.

PIGORINI, A., IANNOTTA, F., MAIR, R. J. M., HARRIS, D. I., MENKITI, C. O., y LEONI, F., (2009). The application of compensation grouting to protect a railway viaduct from tunnelling induced movements. *ITA-AITES World Tunnel Congress*, Budapest, Hungary, May 23–28, 2009.

POPIK, M., TROUT, M., y BROWN, R.W., (2010). Improving soil stiffness beneath pavements using polyurethane injection. *Annual Conference of the Transportation Association of Canada* (2010).

SEED, H.B., y IDRIS, I.M., (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, *ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, Vol. 97, No. SM9, 1249-1273.

SEED, H.B., IDRIS, I.M., MAKDISI, F.I., y BANERJEE, N.G., (1975). Representation of irregular stress time histories by equivalent uniform stress series in liquefaction analyses, Report UCB/EERC-75/29, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

SKEMPTON, A.W., (1986), Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging and overconsolidation, *Géotechnique*, No. 3, 425-447.

SKEMPTON, A.W., y BISHOP, A.W., (1954). Soils. In: M Renner (Ed.), *Building Materials, Their Elasticity and Inelasticity*, North Holland, Amsterdam, 417-482.

SNEDDON, I.N., y LOWENGRUB, M., (1969). *Crack problems in the classical theory of elasticity*, Wiley, New York.

SOCOTEC., (2011). Procédé Uretek. Redressement et confortement des dalles en béton non porteuses. *Rapport d'enquête technique*. Decembre 2011.

UNI 6350-68. Materie plastiche cellulari rigide. Determinazione delle caratteristiche a compressione.

UNI 8071. Materie plastiche cellulari rigide. Determinazione delle caratteristiche a trazione.

URETEK., (2003). Dossier technique. Bulletin n° 2003/22 du 28/05/2003.

URETEK–POLITECNICO DI TORINO., (2013). Progetto di ricerca: Studio teorico sperimentale sull'interazione delle iniezioni di resina espandente con i terreni trattati e per la

caratterizzazione degli interventi di consolidamento con tecnologia Uretek Deep Injections® eseguiti allo scopo di mitigare gli effetti indotti dalle azioni sismiche. Settembre 2013.

VAN DER WAL A., (2010). Longevity of Uretek Resins.

VINSON, T.S., y MITCHELL, J.K., (1972). Polyurethane foamed plastics in soil grouting, *Journal of the Soil Mechanics of the American Society of Civil Engineers*, June, SM 6, 579-602.

YOU, T.L., IDRIS, I.M., ANDRUS, R.D., ARANGO, A., CASTRO, G., CHRISTIAN, J.T., DOBRY, R., FINN, W.D.L., HARDER, L.F., HYNES, M.E., ISHIHARA, K., KOESTER, J.P., LIAO, S.S.C., MARCUSON, W.F., MARTIN, G.R., MITCHELL, J.K., MORIWAKI, Y., POWER, M.S., ROBERTSON, P.K., SEED, R.B., y STOKOE, K.H., (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, *Journal of geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, October 2001, 817-833.

YU, H. S., y HOULSBY, G. T., (1991). Finite cavity expansion in dilatant soils: loading analysis, *Géotechnique*, 41, No. 2, 173-183.

## ANEJOS

## ANEJO I

### Resina Geoplus®

- Geoplus A
- Geoplus B

## Geoplus A

## 1. IDENTIFICAZIONE DELLA SOSTANZA/ MISCELA E DELLA SOCIETÀ/IMPRESA

### Identificazione del prodotto

Nome commerciale : **GEOPLUS A**

### Usi specifici identificati della sostanza o miscela e usi sconsigliati

Uso : Componente poliolico per la produzione di poliuretani

### Informazioni sul fornitore della scheda di dati di sicurezza:

Bayer MaterialScience AG  
BMS-IO-S&T-PSRA-PSI Product Safety  
51368 Leverkusen

Telefono: +49 214 30 25026

Fax: +49 214 30 50035

Email: productsafety@bayerbms.com

**Numeri telefonici per chiamata urgente:** Bayer S.p.a Div. BMS +39 02 39781;

BMS s.r.l. stabilimento di Mussolente (VI) +39 0424 579511

In caso di emergenza: +39 02 39211486 (Bayer S.p.A., Italia)

## 2. IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI

### Classificazione della sostanza o della miscela

#### Classificazione (1272/2008/CE):

Tossicità acuta, Orale, Categoria 4 (H302)

Irritazione cutanea, Categoria 2 (H315)

Irritazione oculare, Categoria 2 (H319)

#### Classificazione (2006/121/CE, 1999/45/CE):

Nocivo per ingestione.

### Informazioni da indicare sull'etichetta

#### Componenti pericolosi da segnalare in etichetta

Polietero a base di ammina aromatica

#### Etichettatura (1272/2008/CE):



Attenzione

#### Indicazioni di pericolo:

H302 Nocivo se ingerito.

H315 Provoca irritazione cutanea. H319

Provoca grave irritazione oculare.

#### Consigli di prudenza:



## SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA

112000043722

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS A**

Versione 1.1

Data di revisione 07.06.2011

Data di stampa 11.06.2011

P280 Indossare guanti protettivi/ Proteggere gli occhi/ il viso.  
P301 + P312 IN CASO DI INGESTIONE accompagnata da malessere: contattare un CENTRO ANTIVELENI o un medico.  
P302 + P352 IN CASO DI CONTATTO CON LA PELLE: lavare abbondantemente con acqua e sapone.  
P332 + P313 In caso di irritazione della pelle: consultare un medico.  
P305 + P351 + P338 IN CASO DI CONTATTO CON GLI OCCHI: sciacquare accuratamente per parecchi minuti. Togliere le eventuali lenti a contatto se è agevole farlo. Continuare a sciacquare.  
P337 + P313 Se l'irritazione degli occhi persiste, consultare un medico.

**Etichettatura (2006/121/CE, 1999/45/CE):**

Etichettatura e classificazione ai sensi della Direttiva 1999/45/CE per preparati pericolosi e successive modifiche

Xn Nocivo

Contiene:

Polietere a base di ammina aromatica

## Frase "R"

R22 Nocivo per ingestione.

## Frase "S"

S26 In caso di contatto con gli occhi, lavare immediatamente e abbondantemente con acqua e consultare un medico.

S28 In caso di contatto con la pelle lavarsi immediatamente ed abbondantemente con sapone ed acqua.

S60 Questo materiale e il suo contenitore devono essere smaltiti come rifiuti pericolosi.

**Altri pericoli**

Pericolo di assorbimento cutaneo di 1-metossipropan-2-olo.

**3. COMPOSIZIONE/INFORMAZIONI SUGLI INGREDIENTI**

**Tipo di prodotto:** Miscela

Miscela di poliolo

**Componenti pericolosi**

Polietere a base di ammina aromatica

Concentrazione [% in peso]:  $\geq 25$  -  $< 50$

N. CAS: 67800-94-6

Classificazione (1272/2008/CE): Acute Tox. 4 Oral H302

Classificazione (67/548/CEE): Xn R22

Classificazione/etichettatura secondo la direttiva 2006/121/CE All. VI



## SCHEMA DI DATI DI SICUREZZA

112000043722

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS A**

Versione 1.1

Data di revisione 07.06.2011

Data di stampa 11.06.2011

Polipropilenglicole

Concentrazione [% in peso]:  $\geq 10$  -  $< 20$ 

N. CAS: 25322-69-4

Classificazione (1272/2008/CE): Acute Tox. 4 Oral H302

Classificazione (67/548/CEE): Xn R22

Classificazione/etichettatura secondo la direttiva 2006/121/CE All. VI

caprolattame

Concentrazione [% in peso]:  $\geq 5$  -  $< 10$ 

N. CAS: 105-60-2

N. EINECS: 203-313-2

N. INDICE: 613-069-00-2

Classificazione (1272/2008/CE): Acute Tox. 4 Inhalative H332 Acute Tox. 4 Oral H302 Eye

Irrit. 2 H319 STOT SE 3 H335 Skin Irrit. 2 H315

Classificazione (67/548/CEE): Xn R20/22 Xi R36/37/38

N,N-dimetilcicloesilammina

Concentrazione [% in peso]:  $\geq 1$  -  $< 3$ 

N. CAS: 98-94-2

N. EINECS: 202-715-5

Classificazione (1272/2008/CE): Flam. Liq. 3 H226 Met. Corr. 1 H290 Acute Tox. 3 Oral H301

Acute Tox. 3 Dermal H311 Acute Tox. 3 Inhalative H331 Skin Corr. 1B H314

Classificazione (67/548/CEE): R10 C R34 Xn R20/21/22

Bis(2-dimetilamminoetil)(metil)ammina

Concentrazione [% in peso]:  $< 1$ 

N. CAS: 3030-47-5

N. EINECS: 221-201-1

N. INDICE: 612-109-00-6

Classificazione (1272/2008/CE): Acute Tox. 4 Oral H302 Acute Tox. 3 Dermal H311 Skin

Corr. 1B H314

Classificazione (67/548/CEE): T R24 Xn R22 C R34

**Sostanza con Valore Limite di Esposizione (VLE)**

1-metossi-2-propanolo

Concentrazione [% in peso]:  $< 10$ 

N. CAS: 107-98-2

N. EINECS: 203-539-1

N. INDICE: 603-064-00-3

Classificazione (1272/2008/CE): Flam. Liq. 3 H226 STOT SE 3 H336

Classificazione (67/548/CEE): R10 R67

**4. MISURE DI PRIMO SOCCORSO****Descrizione delle misure di pronto soccorso****Informazione generale:** Togliersi di dosso immediatamente gli indumenti contaminati.



**SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA**

112000043722

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS A**

Versione 1.1

Data di revisione 07.06.2011

Data di stampa 11.06.2011

**Se inalato:** Portare l'infortunato all'aria aperta, tenerlo al caldo e a riposo; in caso di disturbi respiratori è necessaria l'assistenza medica.

**In caso di contatto con la pelle:** In caso di contatto con la pelle lavare accuratamente con acqua abbondante e sapone. Consultare un medico se si manifestano reazioni cutanee.

**In caso di contatto con gli occhi:** Lavare a lungo (almeno 10 min.) gli occhi con acqua tiepida tenendo le palpebre aperte, quindi consultare un oculista.

**Se ingerito:** NON provocare vomito, necessario l'intervento del medico.

---

**5. MISURE ANTINCENDIO**

**Mezzi di estinzione appropriati:** Anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), Schiuma, polvere antincendio, nel caso di incendi di notevole estensione anche getto d'acqua nebulizzata.

**Agenti estintori non adeguati:** Getto d'acqua abbondante

**Pericoli speciali derivanti dalla sostanza o dalla miscela:**

In caso di incendio si formano monossido e ossido di carbonio, ossidi di azoto e tracce di acido cianidrico. In caso di incendio e/o esplosione non respirare i fumi.

**Raccomandazioni per gli addetti all'estinzione degli incendi:**

Nelle operazioni antincendio usare autorespiratori.

Evitare che l'acqua contaminata usata per l'estinzione penetri nel terreno, nella falda freatica e nelle acque superficiali.

---

**6. MISURE IN CASO DI RILASCIO ACCIDENTALE**

**Precauzioni personali, dispositivi di protezione e procedure in caso di emergenza:** Vestire equipaggiamento protettivo (vedi paragrafo 8). Provvedere ad una sufficiente ventilazione. Tenere lontano terze persone.

**Misure ambientali:** Evitare che il prodotto giunga nei corsi d'acqua, nelle acque di scarico o che penetri nel terreno.

**Metodi e materiali per il contenimento e per la bonifica:** Raccogliere i residui con un legante per reattivi chimici, eventualmente con sabbia secca e immagazzinare in recipienti chiusi.

**Riferimenti ad altre sezioni:** Per smaltimento vedi paragrafo 13.

---

**7. MANIPOLAZIONE E IMMAGAZZINAMENTO**

**Precauzioni per la manipolazione sicura:**

**SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA**

112000043722

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS A**

Versione 1.1

Data di revisione 07.06.2011

Data di stampa 11.06.2011

Manipolare rispettando le buone pratiche di igiene industriale e di sicurezza adeguate. Evitare il contatto con gli occhi e con la pelle.

Nei posti di lavoro o nelle parti di impianti in cui possono formarsi aerosoli e/o vapori in concentrazioni elevate (ad es. per riduzione di pressione, degasaggio di stampi, insufflazione di aria compressa in teste di miscelazione) si deve evitare mediante aspirazione localizzata dell'aria che vengano superati i Valori limite indicativi di esposizione professionale. Il movimento dell'aria deve avvenire in direzione di allontanamento dalle persone. L'efficienza degli impianti di aspirazione va controllata ad intervalli regolari.

In generale si devono prendere misure per prevenire l'accumulo di cariche elettrostatiche, che può verificarsi a causa delle attrezzature, della manipolazione e dell'imballaggio dei prodotti.

Tenere lontano dai generi alimentari. Lavarsi le mani prima delle pause ed alla fine della giornata lavorativa. Conservare separatamente gli indumenti da lavoro. Togliersi di dosso immediatamente gli indumenti contaminati.

**Condizioni per lo stoccaggio sicuro, comprese eventuali incompatibilità:**

Conservare il recipiente ben chiuso e al riparo dall'umidità.

Per motivi di protezione del personale, temperatura di magazzinaggio: mass. 50 °C.

Per altre informazioni specifiche si rimanda a: "Informazione tecnica"

Classe di magazzinaggio secondo VCI (VCI = Associazione tedesca dell'industria chimica): 10

**8. CONTROLLO DELL'ESPOSIZIONE/PROTEZIONE INDIVIDUALE**
**Parametri di controllo**

Componenti con limiti di esposizione

Sostanza	N. CAS	Base	Tipo	Valore	Valore limite assoluto	Osservazioni
caprolattame	105-60-2	OEL (IT)	TWA	10 mg/m <sup>3</sup>		
caprolattame	105-60-2	OEL (IT)	STEL	40 mg/m <sup>3</sup>		
caprolattame	105-60-2	EU ELV	TWA	10 mg/m <sup>3</sup>		
caprolattame	105-60-2	EU ELV	STEL	40 mg/m <sup>3</sup>		
1-metossi-2-propanolo	107-98-2	OEL (IT)	TWA	100 ppm 375 mg/m <sup>3</sup>		
1-metossi-2-propanolo	107-98-2	OEL (IT)	STEL	150 ppm 568 mg/m <sup>3</sup>		
1-metossi-2-propanolo	107-98-2	OEL (IT)				Possibile assorbimento cutaneo

**SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA**

112000043722

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS A**

Versione 1.1

Data di revisione 07.06.2011

Data di stampa 11.06.2011

1-metossi-2-propanolo	107-98-2	EU ELV	TWA	100 ppm 375 mg/m <sup>3</sup>		
1-metossi-2-propanolo	107-98-2	EU ELV	STEL	150 ppm 568 mg/m <sup>3</sup>		
1-metossi-2-propanolo	107-98-2	EU ELV				Possibile assorbimento cutaneo

Per le misure tecniche di protezione relative alla limitazione dell'esposizione si veda anche capitolo 7 "Manipolazione e magazzinaggio".

**Controlli dell'esposizione**
**Protezione respiratoria:**

Prima di manipolare il prodotto allo scoperto, consultare il prospetto sulla protezione delle vie respiratorie dell'ente di assicurazione antinfortunistica. Nel caso di emissione di vapori è necessario proteggere le vie respiratorie. Usare la maschera facciale integrale con filtro tipo ABEK.

**Protezione delle mani:**

Materiali limitatamente idonei per guanti protettivi; EN 374:

Gomma nitrile - NBR ( $\geq 0,35$  mm)

Il tempo di permeazione non è stato controllato; in caso di contaminazione, smaltire immediatamente.

**Protezione degli occhi:**

Proteggersi gli occhi/la faccia.

**Protezione della pelle e del corpo:**

Usare indumenti protettivi adatti.

Misure protettive da prendere per la manipolazione di articoli appena stampati: cfr. capitolo 16

**9. PROPRIETÀ FISICHE E CHIMICHE**
**Informazioni sulle proprietà fisiche e chimiche fondamentali**

Aspetto:	liquido	
Colore:	nero	
Odore:	caratteristico/a	
Soglia dell'odore:	non determinato	
pH:	11,1	
Punto di scorrimento:	ca. -39 °C	calcolato
Punto/intervallo di ebollizione:	> 100 °C a 1.013 hPa	
Punto di infiammabilità:	ca. 111 °C a 1.013 hPa	calcolato
Tasso di evaporazione:	non determinato	
Infiammabilità (solidi, gas):	non applicabile	
Classe di combustione:	non applicabile	
Limite superiore/inferiore di infiammabilità o di esplosività:		

**SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA**

112000043722

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS A**

Versione 1.1

Data di revisione 07.06.2011

Data di stampa 11.06.2011

caprolattame	superiore: 11,9 %(V) / Inferiore: 1,6 %(V)	
N,N-dimetilcicloesilammina	superiore: 19,0 %(V) / Inferiore: 3,6 %(V)	
Bis(2-dimetilamminoetil)(metil)ammina	superiore: 5,6 %(V) / Inferiore: 1,1 %(V)	
1-metossi-2-propanolo	superiore: 13,7 %(V) / Inferiore: 1,5 %(V)	
Pressione di vapore:	ca. 11 mbar a 20 °C	calcolato
	ca. 57 mbar a 50 °C	calcolato
	ca. 72 mbar a 55 °C	calcolato
Densità di vapore:	non determinato	
Densità:	1,046 g/cm <sup>3</sup> a 20 °C a 1.013 hPa	
Miscibile con acqua:	parzialmente miscibile a 15 °C	
Tensione superficiale:	non determinato	
Coefficiente di ripartizione: n-ottanolo/acqua:	non determinato	
Temperatura di autoaccensione:	non applicabile	
Temperatura di accensione:	ca. 395 °C a 1.013 hPa	calcolato
Temperatura di decomposizione:	non determinato	
Viscosità, dinamica:	ca. 600 mPa.s a 20 °C	
Proprietà esplosive:	non determinato	
Classe di esplosione della polvere:	non applicabile	
Proprietà ossidanti:	non determinato	

**10. STABILITÀ E REATTIVITÀ**

**Stabilità chimica:** Fino ad inizio ebollizione non vi è decomposizione.

**Possibilità di reazioni pericolose:** Nell'impiego conforme alle disposizioni, nessuna reazione pericolosa.

**Prodotti di decomposizione pericolosi:** In caso di magazzinaggio e manipolazione adeguati non vi è sviluppo di prodotti di decomposizione pericolosi.

**11. INFORMAZIONI TOSSICOLOGICHE**

Non siamo in possesso di dati tossicologici del prodotto.

Qui di seguito i dati tossicologici a nostra disposizione relativi ai componenti.

**Informazioni sugli effetti tossicologici**
**Tossicità acuta, orale:**



**SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA**

112000043722

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS A**

Versione 1.1

Data di revisione 07.06.2011

Data di stampa 11.06.2011

Polietere a base di ammina aromatica  
DL50 ratto: ca. 1.400 mg/kg

Polipropilenglicole  
DL50 ratto: > 500 - < 2.000 mg/kg

caprolattame  
DL50 ratto: 1.660 mg/kg

N,N-dimetilcicloesilammina  
DL50 ratto: 200 - 450 mg/kg

Bis(2-dimetilamminoetil)(metil)ammina  
DL50 ratto: 1.330 mg/kg

1-metossi-2-propanolo  
DL50 ratto: > 2.000 mg/kg

**Tossicità acuta, cutaneo:**

Polipropilenglicole  
DL50 ratto: > 2.000 mg/kg

caprolattame  
DL50 ratto: > 2.000 mg/kg

N,N-dimetilcicloesilammina  
DL50 ratto: > 400 mg/kg  
OECD TG 402

Bis(2-dimetilamminoetil)(metil)ammina  
DL50 su coniglio: 230 mg/kg

1-metossi-2-propanolo  
DL50 su coniglio: > 10.000 mg/kg

**Tossicità acuta, per inalazione:**

caprolattame  
CL50 ratto: 8,16 mg/l, 4 h

N,N-dimetilcicloesilammina  
CL50 ratto: 4,45 mg/l, 4 h

Bis(2-dimetilamminoetil)(metil)ammina  
CL50 ratto:  
Nessuna mortalità riscontrata entro 8 ore nei test sul ratto.

1-metossi-2-propanolo  
CL50 ratto: > 6 mg/l, 4 h

**Irritazione primaria della pelle:**



SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA

112000043722

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS A**

Versione 1.1

Data di revisione 07.06.2011

Data di stampa 11.06.2011

Polietere a base di ammina aromatica  
su coniglio  
Risultato: non irritante  
Metodo: OECD TG 404

Polipropilenglicole  
su coniglio  
Risultato: non irritante  
Metodo: OECD TG 404

caprolattame  
Risultato: irritante

N,N-dimetilcicloesilammina  
su coniglio  
Risultato: Corrosivo

Bis(2-dimetilamminoetil)(metil)ammina  
su coniglio  
Risultato: Corrosivo

1-metossi-2-propanolo  
su coniglio  
Risultato: non irritante

**Irritazione primaria delle mucose:**

Polietere a base di ammina aromatica  
su coniglio  
Risultato: leggermente irritante  
Metodo: OECD TG 405

Polipropilenglicole  
su coniglio  
Risultato: leggermente irritante  
Metodo: OECD TG 405

caprolattame  
Risultato: irritante

N,N-dimetilcicloesilammina  
su coniglio  
Risultato: fortemente irritante  
Essendo il prodotto già classificato come "corrosivo", il rischio di gravi lesioni oculari è considerato implicito.

Bis(2-dimetilamminoetil)(metil)ammina  
su coniglio  
Risultato: Corrosivo

1-metossi-2-propanolo  
su coniglio  
Risultato: non irritante



**SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA**

112000043722

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS A**

Versione 1.1

Data di revisione 07.06.2011

Data di stampa 11.06.2011

**Sensibilizzazione:**

Polietere a base di ammina aromatica

Sensibilizzazione della pelle secondo Magnusson/Kligmann (test di massimizzazione): porcellino d'India

Risultato: negativo

Metodo: OECD TG 406

Polipropilenglicole

Sensibilizzazione cutanea (LLNA (Local Lymph Node Assay)): topo

Risultato: negativo

Metodo: OECD TG 429

caprolattame

Non sono noti effetti sensibilizzanti.

N,N-dimetilcicloesilammina

Sensibilizzazione della pelle:

Risultato: Non ci sono sensibilizzazione su porcellino d'India.

1-metossi-2-propanolo

Risultato: Il prodotto non svolge azione sensibilizzante su porcellino d'India.

**Genotossicità in vitro:**

Polietere a base di ammina aromatica

Tipo di test: Test di ames

Risultato: negativo

Metodo: OECD TG 471

Polipropilenglicole

Tipo di test: Test salmonella/microsomi (Ames-test)

Risultato: Nessuna indicazione che lasci supporre un effetto mutagenico.

Metodo: OECD TG 471

N,N-dimetilcicloesilammina

Tipo di test: Test salmonella/microsomi (Ames-test)

Risultato: Nessuna indicazione che lasci supporre un effetto mutagenico.

**Valutazione CMR:**

caprolattame

Mutagenicità: Non mutagenico al test AMES.

1-metossi-2-propanolo

Cancerogenicità: Non ha mostrato effetti cancerogeni negli esperimenti su animali.

Teratogenicità: Non ha mostrato effetti teratogeni negli esperimenti su animali.

Tossicità per la riproduzione/fertilità: Esperimenti su animali hanno evidenziato un rischio a danno della fertilità soltanto a seguito di una somministrazione di dosi elevate di questa sostanza.

**Altri avvertimenti:**

1-metossi-2-propanolo

Rischio d'assorbimento cutaneo.

---

**12. INFORMAZIONI ECOLOGICHE**



**SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA**

112000043722

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS A**

Versione 1.1

Data di revisione 07.06.2011

Data di stampa 11.06.2011

Non si dispone di dati ecotossicologici relativi al prodotto.

Evitare che il prodotto giunga nei corsi d'acqua, nelle acque di scarico o che penetri nel terreno.

Qui di seguito i dati ecotossicologici a nostra disposizione relativi ai componenti.

**Tossicità**

**Tossicità acuta per i pesci:**

Polipropilenglicole

CL50 > 100 mg/l

Specie: Poecilia reticulata (Guppy)

Durata dell'esposizione: 96 h

Metodo: OECD TG 203

caprolattame

CL50 500 - 1.000 mg/l

Specie: Salmo gaidneri

Durata dell'esposizione: 96 h

Metodo: OECD TG 203

N,N-dimetilcicloesilammina

CL50 22 - 46 mg/l

Specie: Leuciscus idus (Leucisco dorato)

Durata dell'esposizione: 96 h

Metodo: DIN 38412

Bis(2-dimetilamminoetil)(metil)ammina

CL50 220 mg/l

Tipo di test: Tossicità acuta per i pesci

Specie: Leuciscus idus (Leucisco dorato)

Durata dell'esposizione: 96 h

1-metossi-2-propanolo

CL50 4.600 - 10.000 mg/l

Specie: Leuciscus idus (Leucisco dorato)

Durata dell'esposizione: 96 h

**Tossicità acuta su dafnie:**

Polipropilenglicol

e CE50 > 100

mg/l

Specie: Daphnia magna (Pulce d'acqua grande)

Durata dell'esposizione: 48 h

Metodo: OECD TG 202

caprolattame

CE50 >500 mg/l

Specie: Daphnia magna (Pulce d'acqua grande)

Durata dell'esposizione: 48 h



**SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA**

112000043722

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS A**

Versione 1.1

Data di revisione 07.06.2011

Data di stampa 11.06.2011

N,N-dimetilcicloesilammina  
CE50 75 mg/l  
Specie: Daphnia magna (Pulce d'acqua grande)  
Durata dell'esposizione: 48 h

1-metossi-2-propanolo  
CE50 23.300 mg/l  
Specie: Daphnia magna (Pulce d'acqua grande)  
Durata dell'esposizione: 48 h

**Tossicità acuta per le alghe:**

Polipropilenglicole  
CE0 >= 100 mg/l  
Testato su: Desmodesmus subspicatus (Alga verde) Durata del test: 72 h  
Metodo: OECD TG 201

caprolattame  
CE50 130 mg/l  
Testato su: scenedesmus subspicatus Durata del test: 72 h

N,N-dimetilcicloesilammina  
CE50 > 2 mg/l  
Testato su: scenedesmus subspicatus Durata del test: 72 h  
Metodo: DIN 38412

1-metossi-2-propanolo  
CE50 > 1.000 mg/l  
Testato su: Pseudokirchneriella subcapitata (alghe cloroficee) Durata del test: 7 d

**Tossicità batterica acuta:**

Polipropilenglicole  
CE50 > 1.000 mg/l  
Testato su: fanghi attivi Durata del test: 3 h  
Metodo: OECD TG 209

caprolattame  
CE50 4.200 mg/l  
Testato su: Pseudomonas putida Durata del test: 17 h

N,N-dimetilcicloesilammina  
CE50 206 mg/l  
Testato su: Pseudomonas putida Durata del test: 17 h

1-metossi-2-propanolo  
CI50 >1.000 mg/l  
Testato su: fanghi attivi

**Persistenza e degradabilità**

**Biodegradabilità:**

Polipropilenglicole  
Biodegradazione: > 60 %, 28 d, cioè facilmente degradabile.  
Metodo: OECD TG 301 F

**SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA**

112000043722

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS A**

Versione 1.1

Data di revisione 07.06.2011

Data di stampa 11.06.2011

caprolattame

Biodegradazione: 82 %, 14 d, cioè facilmente degradabile.

Metodo: OECD TG 301 C

N,N-dimetilcicloesilammina

Biodegradazione: 90 - 100 %, 18 d, cioè facilmente degradabile.

Metodo: OECD TG 301 A

Bis(2-dimetilamminoetil)(metil)ammina

Biodegradazione: &lt; 20 %, cioè non facilmente degradabile

1-metossi-2-propanolo

Biodegradazione: 96 %, 28 d, cioè facilmente degradabile.

Metodo: OECD TG 301 E

**Potenziale di bioaccumulo****Ossigeno chimico richiesto (COD):**

1-metossi-2-propanolo

Valore COD: 1,95 mg/g

**Coefficiente di ripartizione: n-ottanolo/acqua:**

1-metossi-2-propanolo

log Pow: -0,49

**13. CONSIDERAZIONI SULLO SMALTIMENTO**

Smaltire nel rispetto di tutte le normative internazionali, nazionali e locali.

Per lo smaltimento all'interno dell'EU é da utilizzarsi il relativo codice rifiuto tratto dal catasto europeo rifiuti (codice CER).

**Metodi di trattamento dei rifiuti**

Dopo aver rimosso accuratamente i residui (liquidi, solidi e pastosi), le confezioni vuote possono essere consegnate ai punti di raccolta istituiti dall'industria chimica competenti per i rispettivi tipi di imballaggi, affinché vengano trattate per il recupero. Il recupero dovrà essere effettuato in conformità alla normativa nazionale e alle disposizioni in materia di tutela ambientale.

Non smaltire nelle acque di scarico.

**14. INFORMAZIONI SUL TRASPORTO****ADR/RID** Merci non pericolose**ADN** Merci non pericolose

Questi dati di classificazione non riguardano il trasporto con nave cisterna. Se necessario, è possibile rivolgersi al produttore per richiedere ulteriori informazioni.



## SCHEMA DI DATI DI SICUREZZA

112000043722

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS A**

Versione 1.1

Data di revisione 07.06.2011

Data di stampa 11.06.2011

**IATA** Mercè non pericolose**IMDG** Mercè non pericolose

Precauzioni speciali per gli utilizzatori : Non pericoloso ai fini del trasporto.  
Sensibile al calore a partire da +25 °C. Sensibile al freddo a partire da +15 °C.  
Tenere lontano da generi alimentari, da acidi ed alcali.

**15. INFORMAZIONI SULLA REGOLAMENTAZIONE****Norme e legislazione su salute, sicurezza e ambiente specifiche per la sostanza o la miscela****Classe di contaminazione dell'acqua (Germania):** 1 contaminante lieve dell'acqua

Osservare tutti i regolamenti nazionali vigenti relativi alla manipolazione di sostanze pericolose.

**16. ALTRE INFORMAZIONI****Testo completo delle avvertenze di pericolosità (frasi H) citate nelle sezioni 2 e 3 della classificazione CLP (1272/2008/CE).**

H226	Liquido e vapori infiammabili.
H290	Può essere corrosivo per i metalli.
H301	Tossico se ingerito.
H302	Nocivo se ingerito.
H311	Tossico per contatto con la pelle.
H314	Provoca gravi ustioni cutanee e gravi lesioni oculari.
H315	Provoca irritazione cutanea.
H319	Provoca grave irritazione oculare.
H331	Tossico se inalato.
H332	Nocivo se inalato.
H335	Può irritare le vie respiratorie.
H336	Può provocare sonnolenza o vertigini.

**Testo completo delle frasi R citate nelle sezioni 2 e 3 della classificazione UE (67/548/CEE , 1999/45/CE).**

R10	Infiammabile.
R20/21/22	Nocivo per inalazione, contatto con la pelle e per ingestione.
R20/22	Nocivo per inalazione e ingestione.
R22	Nocivo per ingestione.
R24	Tossico a contatto con la pelle.
R34	Provoca ustioni.
R36/37/38	Irritante per gli occhi, le vie respiratorie e la pelle.
R67	L'inalazione dei vapori può provocare sonnolenza e vertigini.

Misure protettive da prendere per la manipolazione di articoli poliuretanicè appena stampati:



## SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA

112000043722

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

### **GEOPLUS A**

Versione 1.1

Data di revisione 07.06.2011

Data di stampa 11.06.2011

---

A seconda dei parametri di lavorazione, gli articoli poliuretanici prodotti con questa materia prima, le cui superfici non siano coperte, possono contenere sulla superficie tracce di sostanze (ad es. prodotti di base e derivati, catalizzatori, distaccanti) con proprietà pericolose. Evitare il contatto cutaneo con tali tracce. A tal fine, sia durante la sformatura che durante la manipolazione degli articoli appena stampati indossare almeno guanti protettivi in tessuto il cui palmo e la cui zona delle dita siano rivestiti esternamente con gomma nitrilica, PVC o poliuretano. I guanti protettivi dovrebbero essere cambiati ogni giorno. Si consiglia di indossare indumenti protettivi conformi alle condizioni della manipolazione usuale di particolari in poliuretano appena stampati.

#### **Ulteriori informazioni**

Le informazioni riportate in questa Scheda di Sicurezza sono corrette secondo le nostre migliori conoscenze del prodotto al momento della pubblicazione. Tali informazioni vengono fornite con l'unico scopo di consentire l'utilizzo, lo stoccaggio, il trasporto e lo smaltimento del prodotto nei modi più corretti e sicuri. Queste informazioni non devono considerarsi una garanzia od una specifica della qualità del prodotto. Esse si riferiscono soltanto al materiale specificatamente indicato e non sono valide per lo stesso quando usato in combinazione con altri materiali o in altri processi non specificatamente indicati nel testo della Scheda di Sicurezza del Materiale.

---

## Geoplus B



## 1. IDENTIFICAZIONE DELLA SOSTANZA/ MISCELA E DELLA SOCIETÀ/IMPRESA

### Identificazione del prodotto

Nome commerciale : **GEOPLUS B**

### Usi specifici identificati della sostanza o miscela e usi sconsigliati

Uso : Componente di-/poli- isocianico per la produzione di poliuretani

### Informazioni sul fornitore della scheda di dati di sicurezza:

Bayer MaterialScience AG  
BMS-IO-S&T-PSRA-PSI Product Safety  
51368 Leverkusen

Telefono: +49 214 30 25026  
Fax: +49 214 30 9650035  
Email: productsafety@bayerbms.com

**Numeri telefonici per chiamata urgente:** Bayer S.p.a Div. BMS +39 02 39781;  
BMS s.r.l. stabilimento di Mussolente (VI) +39 0424 579511  
In caso di emergenza: +39 02 39211486 (Bayer S.p.A., Italia)

## 2. IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI

### Classificazione della sostanza o della miscela

#### Classificazione (1272/2008/CE):

Tossicità acuta, Inalativo, Categoria 4 (H332)  
Irritazione cutanea, Categoria 2 (H315)  
Irritazione oculare, Categoria 2 (H319)  
Sensibilizzazione delle vie respiratorie, Categoria 1 (H334)  
Sensibilizzazione cutanea, Categoria 1 (H317)  
Cancerogenicità, Categoria 2 (H351)  
Tossicità specifica nell'organo bersaglio (esposizione singola), Categoria 3 (H335)  
Tossicità specifica nell'organo bersaglio (esposizione ripetuta), Categoria 2 (H373)

#### Classificazione (67/548/CEE, 1999/45/CE):

Nocivo per inalazione.  
Può provocare sensibilizzazione per inalazione e contatto con la pelle.  
Irritante per gli occhi, le vie respiratorie e la pelle.  
Possibilità di effetti cancerogeni - prove insufficienti.  
Nocivo: pericolo di gravi danni per la salute in caso di esposizione prolungata per inalazione.

### Informazioni da indicare sull'etichetta

#### Componenti pericolosi da segnalare in etichetta

Difenilmetanodiisocianato, isomeri e omologhi  
N. identificativo: 9016-87-9



## SCHEMA DI DATI DI SICUREZZA

112000015557

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS B**

Versione 4.1

Data di revisione 25.11.2010

Data di stampa 14.10.2011

**Etichettatura (1272/2008/CE):**

Pericolo

**Indicazioni di pericolo:**

H315 Provoca irritazione cutanea.

H317 Può provocare una reazione allergica cutanea.

H319 Provoca grave irritazione oculare.

H332 Nocivo se inalato.

H334 Può provocare sintomi allergici o asmatici o difficoltà respiratorie se inalato.

H335 Può irritare le vie respiratorie.

H351 Sospettato di provocare il cancro.

H373 Può provocare danni agli organi in caso di esposizione prolungata o ripetuta.

**Consigli di prudenza:**

P260 Non respirare polvere/ fumi/ gas/ nebbia/ vapori/ nebulizzato.

P280 Indossare guanti protettivi/ Proteggere gli occhi/ il viso.

P302 + P352 IN CASO DI CONTATTO CON LA PELLE: lavare abbondantemente con acqua e sapone.

P304 + P340 IN CASO DI INALAZIONE: trasportare l'infortunato all'aria aperta e mantenerlo a riposo in posizione che favorisca la respirazione.

P305 + P351 + P338 IN CASO DI CONTATTO CON GLI OCCHI: sciacquare accuratamente per parecchi minuti. Togliere le eventuali lenti a contatto se è agevole farlo. Continuare a sciacquare.

P308 + P313 IN CASO di esposizione o di possibile esposizione, consultare un medico.

**Etichettatura (67/548/CEE, 1999/45/CE):**

Etichettatura e classificazione ai sensi della Direttiva 1999/45/CE per preparati pericolosi e successive modifiche

Xn Nocivo

Difenilmetanodiisocianato, isomeri e omologhi

Frase "R"

R20 Nocivo per inalazione.

R36/37/38 Irritante per gli occhi, le vie respiratorie e la pelle.

R42/43 Può provocare sensibilizzazione per inalazione e contatto con la pelle.

R40 Possibilità di effetti cancerogeni - prove insufficienti.

R48/20 Nocivo: pericolo di gravi danni per la salute in caso di esposizione prolungata per inalazione.

Frase "S"

S23 Non respirare i vapori.

S24 Evitare il contatto con la pelle.

S26 In caso di contatto con gli occhi, lavare immediatamente e abbondantemente con acqua e consultare un medico.

S37 Usare guanti adatti.

S45 In caso di incidente o di malessere consultare immediatamente il medico (se possibile, mostrargli l'etichetta).

S60 Questo materiale e il suo contenitore devono essere smaltiti come rifiuti



## SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA

112000015557

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS B**

Versione 4.1

Data di revisione 25.11.2010

Data di stampa 14.10.2011

pericolosi.

**Altri pericoli**

Le persone che presentano ipersensibilità delle vie respiratorie (ad es. asma, bronchite cronica) non devono manipolare il prodotto. Anche diverse ore dopo un'eventuale sovraesposizione possono manifestarsi sintomi di disturbi delle vie respiratorie. Polvere, vapori e aerosoli costituiscono il pericolo principale per le vie respiratorie.

**3. COMPOSIZIONE/INFORMAZIONI SUGLI INGREDIENTI****Tipo di prodotto:** Sostanza

difenilmetanodiisocianato, isomeri e omologhi

**Componenti pericolosi**

Difenilmetanodiisocianato, isomeri e omologhi

Concentrazione [% in peso]: &lt;= 100

No. CAS: 9016-87-9

Classificazione (1272/2008/CE): Acute Tox. 4 Inalativo H332 Skin Irrit. 2 H315 Eye Irrit. 2 H319 Sens. Resp 1 H334 Skin Sens. 1 H317 Canc. 2 H351 STOT SE 3 H335 STOT RE 2 Inalativo H373

Classificazione (67/548/CEE): Carc. Cat. 3 R40 Xn R20 R42/43 R48/20 Xi R36/37/38

Concentrazioni limite specifiche:

Xn	R42	0,1 - < 1 %
Xn	R40, R42/43	1 - < 5 %
Xn	R36/37/38, R40, R42/43	5 - < 10 %
Xn	R36/37/38, R40, R42/43, R48/20	10 - < 25 %
Xn	R20, R36/37/38, R40, R42/43, R48/20	>= 25 %

**4. MISURE DI PRIMO SOCCORSO****Descrizione delle misure di pronto soccorso**

**Informazione generale:** Togliere immediatamente le scarpe e gli indumenti impregnati e insudiciati, decontaminarli e smaltirli.

**Se inalato:** Portare l'infortunato all'aria aperta, tenerlo al caldo e a riposo; in caso di disturbi respiratori è necessaria l'assistenza medica.

**In caso di contatto con la pelle:** In caso di contatto con la pelle pulirsi possibilmente con un detergente a base di polietilenglicolo, oppure lavarsi con molta acqua calda e sapone. Consultare un medico se si manifestano reazioni cutanee.

**In caso di contatto con gli occhi:** Lavare a lungo (almeno 10 min.) gli occhi con acqua tiepida tenendo le palpebre aperte, quindi consultare un oculista.



## SCHEMA DI DATI DI SICUREZZA

112000015557

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS B**

Versione 4.1

Data di revisione 25.11.2010

Data di stampa 14.10.2011

**Se ingerito:** NON provocare vomito, necessario l'intervento del medico.

**Principali sintomi ed effetti, sia acuti e che ritardati**

**Note per il medico:** Il prodotto irrita le vie respiratorie ed è la causa potenziale di sensibilizzazioni della pelle e delle vie respiratorie. La terapia dell'irritazione acuta o della broncostenosi è in prima linea sintomatica. A seconda dell'entità dell'esposizione e dei disturbi, può essere necessaria l'assistenza medica per un periodo più lungo.

---

**5. Misure antincendio**

**Mezzi di estinzione idonei:** Anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), Schiuma, polvere antincendio, nel caso di incendi di notevole estensione anche getto d'acqua nebulizzata.

**Mezzi di estinzione non idonei:** Getto d'acqua abbondante

**Pericoli speciali derivanti dalla sostanza o dalla miscela:**

In caso di incendio si formano monossido e ossido di carbonio, ossidi di azoto, vapori di isocianato e tracce di acido cianidrico. In caso di incendio e/o esplosione non respirare i fumi.

In caso di incendio nelle vicinanze, si verifica un aumento di pressione con pericolo di scoppio. Raffreddare i contenitori danneggiati dall'incendio con acqua e, se possibile, allontanarli dalla zona di pericolo.

**Raccomandazioni per gli addetti all'estinzione degli incendi:**

Durante l'estinzione di incendi è necessario proteggere le vie respiratorie con un respiratore autonomo e tuta protettiva impermeabile ai prodotti chimici.

Evitare che l'acqua contaminata usata per l'estinzione penetri nel terreno, nella falda freatica e nelle acque superficiali.

---

**6. MISURE IN CASO DI RILASCIO ACCIDENTALE**

**Precauzioni personali, dispositivi di protezione e procedure in caso di emergenza:** Vestire equipaggiamento protettivo (vedi punto 8). Provvedere ad una sufficiente ventilazione. Tenere lontano terze persone.

**Misure ambientali:** Non scaricare il flusso di lavaggio in acque di superficie o in sistemi fognari sanitari.

**Metodi e materiali per il contenimento e per la bonifica:** Asportare meccanicamente; coprire i residui con materiale assorbente umido (ad es. segatura, leganti per reattivi chimici a base di silicato idrato di calcio, sabbia). Dopo ca. 1 ora raccogliere in un recipiente per rifiuti. Non chiuderlo (si sviluppa anidride carbonica). Tenere all'umido e lasciare parecchi giorni all'aperto, in luogo sotto controllo.



## SCHEMA DI DATI DI SICUREZZA

112000015557

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS B**

Versione 4.1

Data di revisione 25.11.2010

Data di stampa 14.10.2011

**Riferimenti ad altre sezioni:** Per smaltimento vedi capitolo 13.

**7. MANIPOLAZIONE E IMMAGAZZINAMENTO****Precauzioni per la manipolazione sicura:**

Assicurare un sufficiente ricambio d'aria e/o aspirazione- adeguata negli ambienti di lavoro.

Nei posti di lavoro o nelle parti di impianti in cui possono formarsi aerosol e/o vapori di isocianato in concentrazioni elevate (ad es. per riduzione di pressione, degasaggio di stampi, insufflazione di aria compressa in teste di miscelazione) si deve evitare mediante aspirazione localizzata dell'aria che vengano superati i Valori limite indicativi di esposizione professionale. Il movimento dell'aria deve avvenire in direzione di allontanamento dalle persone. L'efficienza degli impianti di aspirazione va controllata ad intervalli regolari. Controllare i valori di soglia nell'aria indicati nella sezione 8.

Osservare le misure di protezione personale descritte nella sezione 8. Evitare nel modo più assoluto il contatto con la pelle e gli occhi nonché l'inalazione dei vapori.

Tenere lontano dai generi alimentari. Lavarsi le mani prima delle pause ed alla fine della giornata lavorativa. Conservare separatamente gli indumenti da lavoro. Togliere immediatamente tutti gli indumenti contaminati. Decontaminare, distruggere e smaltire gli indumenti insudiciati (cfr. cap. 13).

**Condizioni per lo stoccaggio sicuro, comprese eventuali incompatibilità:**

Conservare il recipiente ben chiuso e al riparo dall'umidità. Ulteriori informazioni sulle condizioni d'immagazzinaggio da rispettare per motivi di assicurazione della qualità sono contenute nella nostra scheda tecnica.

Per motivi di protezione del personale, temperatura di magazzinaggio: mass. 50 °C.

Classe di magazzinaggio secondo VCI (VCI = Associazione tedesca dell'industria chimica): 10

**8. CONTROLLO DELL'ESPOSIZIONE/PROTEZIONE INDIVIDUALE****Parametri di controllo**

Componenti con limiti di esposizione

**Difenilmetan-4,4'- diisocianato** N° CAS: 101-68-8 Base: OEL (IT) Tipo: TWA Valore: 0,005 ppm

Il prodotto può contenere tracce di fenilisocianato.

**Controlli dell'esposizione**


**SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA**

112000015557

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS B**

Versione 4.1

Data di revisione 25.11.2010

Data di stampa 14.10.2011

**Protezione respiratoria:**

Negli ambienti di lavoro con insufficiente ventilazione e durante la lavorazione a spruzzo è necessario proteggere le vie respiratorie. Si consiglia una maschera con alimentazione d'aria o per lavori di breve durata, una maschera con filtro combinato A2-P2.

**Protezione delle mani:**

Materiali adatti per guanti protettivi; EN 374-3:

Policloroprene - CR: spessore  $\geq 0,5\text{mm}$ ; tempo d'insorgenza  $\geq 480\text{min}$ .

Gomma nitrile - NBR: spessore  $\geq 0,35\text{mm}$ ; tempo d'insorgenza  $\geq 480\text{min}$ .

Gomma butile - IIR: spessore  $\geq 0,5\text{mm}$ ; tempo d'insorgenza  $\geq 480\text{min}$ .

Gomma fluorurata - FKM: spessore  $\geq 0,4\text{mm}$ ; tempo d'insorgenza  $\geq 480\text{min}$ .

Raccomandazione: smaltire in modo adeguato i guanti contaminati.

**Protezione degli occhi:**

Protegersi gli occhi/la faccia.

**Protezione della pelle e del corpo:**

Usare indumenti protettivi adatti.

Misure protettive da prendere per la manipolazione di articoli appena stampati: cfr. capitolo 16

**9. PROPRIETÀ FISICHE E CHIMICHE**
**Informazioni sulle proprietà fisiche e chimiche fondamentali**

Aspetto:	liquido	
Colore:	marrone	
Odore:	terroso, che sa di muffa	
Soglia dell'odore:	non determinato	
pH:	non determinato	
Punto di scorrimento:	-24 °C	DIN 51556
Punto/intervallo di ebollizione:	> 300 °C	DIN 51757
Punto di infiammabilità.:	> 250 °C	DIN 51758
Tasso di evaporazione:	non determinato	
Infiammabilità (solidi, gas):	non applicabile	
Classe di combustione:	non applicabile	
Tensione di vapore:	1 hPa a 20 °C	EG A4
	12 hPa a 50 °C	EG A4
	17 hPa a 55 °C	EG A4
	Difenilmetan-diisocianato (MDI) < 0,00001 hPa a 20 °C	
Densità di vapore:	non determinato	
Densità:	1,24 g/cm <sup>3</sup> a 20 °C	DIN 51757
Miscibile con acqua:	non miscibile a 15 °C	
Idrosolubilità:	insolubile, reagisce rilasciando CO <sub>2</sub>	
Tensione superficiale:	non determinato	



## SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA

112000015557

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS B**

Versione 4.1

Data di revisione 25.11.2010

Data di stampa 14.10.2011

---

Coefficiente di ripartizione: n-ottanolo/acqua:	non determinato	
Temperatura di autoaccensione:	non applicabile	
Temperatura di accensione:	> 500 °C	DIN 51794
Temperatura di decomposizione:	non determinato	
Viscosità, dinamica:	296 mPa.s a 20 °C	DIN 53211
Proprietà esplosive:	non determinato	
Classe di esplosione della polvere:	non applicabile	
Proprietà ossidanti:	non determinato	
Informazioni supplementari:	I valori riportati non sono sempre conformi alle specifiche del prodotto. I dati di specifica vanno desunti dalla scheda tecnica.	

---

**10. STABILITÀ E REATTIVITÀ**

**Stabilità chimica:** A partire da 200 °C polimerizzazione, sviluppo di CO<sub>2</sub>.

**Possibilità di reazioni pericolose:** Reazione esotermica con ammine ed alcoli, con acqua sviluppo di CO<sub>2</sub>, se in contenitori chiusi aumento di pressione; pericolo di scoppio.

**Prodotti di decomposizione pericolosi:** In caso di immagazzinaggio e manipolazione adeguati non vi è sviluppo di prodotti di decomposizione pericolosi.

---

**11. INFORMAZIONI TOSSICOLOGICHE****Informazioni sugli effetti tossicologici****Tossicità acuta, orale:**

Difenilmetanodiiisocianato, isomeri e omologhi  
DL50 ratto: > 2.000 mg/kg  
Esami tossicologici su un prodotto comparabile.

**Tossicità acuta, per inalazione:**

Difenilmetanodiiisocianato, isomeri e omologhi  
CL50 ratto: 490 mg/m<sup>3</sup>, 4 h  
Sostanza da sottoporre al test: come aerosol  
Concentrazione del vapore saturo di 4,4-MDI a 25 °C: 0,09 mg/m<sup>3</sup>

**Irritazione primaria della pelle:**

Difenilmetanodiiisocianato, isomeri e omologhi  
su coniglio  
Risultato: irritante  
Metodo: OECD TG 404  
Esami tossicologici su un prodotto comparabile.

**Irritazione primaria delle mucose:**



## SCHEMA DI DATI DI SICUREZZA

112000015557

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS B**

Versione 4.1

Data di revisione 25.11.2010

Data di stampa 14.10.2011

Difenilmetanodiisocianato, isomeri e omologhi  
su coniglio  
Risultato: non irritante  
Metodo: OECD TG 405  
Esami tossicologici su un prodotto comparabile.

**Sensibilizzazione:**

Difenilmetanodiisocianato, isomeri e omologhi  
Risultato: Può provocare sensibilizzazione per inalazione e contatto con la pelle.

**Tossicità subacuta, subcronica e a lungo termine:**

Difenilmetanodiisocianato, isomeri e omologhi  
Studio sugli effetti dell'inalazione a lunga durata di difenilmetan-diisocianato tec. (PMDI),  
compiuto con aerosoli inalabili di PMDI prodotti meccanicamente. Diametro aerodinamico: 95 %  
inferiore a 5 µm  
Concentrazione: 0,2 ; 1,0 e 6,0 mg/m<sup>3</sup> - gruppi di animali: per prova 120 ratti (60 femmine, 60  
maschi)

Risultati dopo esame clinico ed istopatologico degli animali: 0,2 mg aerosoli/m<sup>3</sup>: Nessuna  
irritazione delle vie respiratorie e dei polmoni "No effect level" (NOEL).  
1,0 mg aerosoli/m<sup>3</sup>: Leggere irritazioni e alterazioni infiammatorie nel naso, nelle vie respiratorie  
e nei polmoni, nessun tumore polmonare.  
6,0 mg aerosoli/m<sup>3</sup>: Forti irritazioni e alterazioni infiammatorie croniche nel naso, nelle vie  
respiratorie e nei polmoni. Agglomeramento di una sostanza gialla nei polmoni.  
Sono stati rivelati 8 tumori benigni (valore statisticamente elevato) ed 1 tumore maligno  
(statisticamente privo di significato).  
La comparsa complessivamente elevata di tumori polmonari esclusivamente nel gruppo che era  
stato esposto alla massima concentrazione di aerosoli viene vista in correlazione diretta con le  
irritazioni croniche e la alterazioni degli organi respiratori nonché con gli agglomeramenti di  
sostanza gialla osservati nei polmoni degli animali.

**Altri avvertimenti:**

Particolari caratteristiche/effetti: Conseguenze sugli occhi: Provoca debole arrossamento e  
gonfiore di breve durata delle congiuntive nonché un debole offuscamento reversibile della  
cornea. Alle concentrazioni elevate i vapori di prodotto esercitano un effetto irritante sugli occhi e  
sulle mucose. Conseguenze sulla pelle: Irritante. In caso di contatto prolungato con la pelle sono  
possibili effetti irritanti e disidratanti. Esperienza umana: Irritazione delle mucose del naso, della  
gola e dei polmoni, gola secca, oppressione sul petto accompagnata talora da disturbi della  
respirazione e cefalea. Con persone predisposte, possibili la comparsa ritardata dei disturbi e di  
reazioni allergiche.

**12. INFORMAZIONI ECOLOGICHE**

Evitare che il prodotto giunga nei corsi d'acqua, nelle acque di scarico o che penetri nel terreno.

**Tossicità**



## SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA

112000015557

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS B**

Versione 4.1

Data di revisione 25.11.2010

Data di stampa 14.10.2011

**Tossicità acuta per i pesci:**

Difenilmetanodiisocianato, isomeri e omologhi  
CL0 > 1.000 mg/l  
Specie: Danio rerio (pesce zebra)  
Durata dell'esposizione: 96 h  
Metodo: OECD TG 203

**Tossicità acuta su dafnie:**

Difenilmetanodiisocianato, isomeri e omologhi  
CE50 > 1.000 mg/l  
Specie: Daphnia magna (Pulce d'acqua grande)  
Durata dell'esposizione: 24 h  
Metodo: OECD TG 202

**Tossicità batterica acuta:**

Difenilmetanodiisocianato, isomeri e omologhi  
CE50 > 100 mg/l  
Testato su: fanghi attivi Durata del test: 3 h  
Metodo: OECD TG 209

**Persistenza e degradabilità****Biodegradabilità:**

Difenilmetanodiisocianato, isomeri e omologhi  
Biodegradazione: 0 %, 28 d, cioè non degradabile  
Metodo: OECD TG 302C

**Altre informazioni sull'ecotossicologia:**

Il prodotto reagisce con acqua in corrispondenza della superficie con sviluppo di CO<sub>2</sub> formando un prodotto di reazione solido, insolubile ed altofondente (poliurea). Questa reazione viene fortemente favorita da sostanze tensioattive (ad es. saponi liquidi) e da solventi idrosolubili. Secondo le esperienze finora acquisite, la poliurea è inerte e non degradabile.

---

**13. CONSIDERAZIONI SULLO SMALTIMENTO**

Smaltire nel rispetto di tutte le normative internazionali, nazionali e locali.

Per lo smaltimento all'interno dell'EU é da utilizzarsi il relativo codice rifiuto tratto dal catasto europeo rifiuti (codice CER).

**Metodi di trattamento dei rifiuti**

Subito dopo l'ultimo prelievo di prodotto, svuotare completamente i contenitori (sgocciolati, privi di granuli e di residui pastosi). Dopo avere neutralizzato i resti di prodotto che aderiscono alle pareti del contenitore, annullare l'etichetta del prodotto e i simboli di pericolo. Questi imballaggi possono essere consegnati, per tipologia di imballaggio, ai centri del sistema di raccolta dell'industria chimica ai fini del riutilizzo. Il recupero dovrà essere effettuato in conformità alla normativa nazionale e alle disposizioni in materia di tutela ambientale.

Non smaltire nelle acque di scarico.



## SCHEMA DI DATI DI SICUREZZA

112000015557

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS B**

Versione 4.1

Data di revisione 25.11.2010

Data di stampa 14.10.2011

**14. INFORMAZIONI SUL TRASPORTO**

ADR/RID Mercì non pericolose

ADN Mercì non pericolose

ADNR (solo nave  
cisterna) Mercì non pericolose

IATA Mercì non pericolose

IMDG Mercì non pericolose

Precauzioni speciali per gli utilizzatori : Non pericoloso ai fini del trasporto.  
Irritante per la pelle e per gli occhi. Sensibile al gelo a partire da 0 °C.  
Sensibile al calore a partire da +50 °C. Proteggere dall'umidità.  
Tenere lontano da generi alimentari, da acidi ed alcali.

**15. INFORMAZIONI SULLA REGOLAMENTAZIONE****Norme e legislazione su salute, sicurezza e ambiente specifiche per la sostanza o la miscela****Classe di contaminazione dell'acqua (Germania):** 1 contaminante lieve dell'acqua  
(in conformità all'Appendice 4 VwVwS)

E' necessario osservare tutti i regolamenti nazionali vigenti sulla manipolazione degli isocianati.

**16. ALTRE INFORMAZIONI****Testo completo delle avvertenze di pericolosità (frasi H) citate nelle sezioni 2 e 3 della classificazione CLP (1272/2008/CE).**

H315	Provoca irritazione cutanea.
H317	Può provocare una reazione allergica cutanea.
H319	Provoca grave irritazione oculare.
H332	Nocivo se inalato.
H334	Può provocare sintomi allergici o asmatici o difficoltà respiratorie se inalato.
H335	Può irritare le vie respiratorie.
H351	Sospettato di provocare il cancro.
H373	Può provocare danni agli organi in caso di esposizione prolungata o ripetuta se inalato.

**Testo completo delle frasi R citate nelle sezioni 2 e 3 della classificazione UE (67/548/CEE , 1999/45/CE).**

**SCHEDA DI DATI DI SICUREZZA**

112000015557

secondo la Direttiva (EU) No 1907/2006

**GEOPLUS B**

Versione 4.1

Data di revisione 25.11.2010

Data di stampa 14.10.2011

---

R20	Nocivo per inalazione. R36/37/38
Irritante per gli occhi, le vie respiratorie e la pelle.	
R40	Possibilità di effetti cancerogeni - prove insufficienti.
R42/43	Può provocare sensibilizzazione per inalazione e contatto con la pelle.
R48/20	Nocivo: pericolo di gravi danni per la salute in caso di esposizione prolungata per inalazione.

Per spedizioni all'interno del territorio degli USA: ai sensi del § 172.101, Appendix A, DOT (Department of Transportation): MDI Reportable Quantity (RQ): 5000lbs (2270kg).

Direttive ISOPA per sicure condizioni di carico/scarico, trasporto e magazzinaggio del TDI e dell'MDI. Numero di ordinazione ISOPA: PSC-0020-GUIDL-I

Misure protettive da prendere per la manipolazione di articoli poliuretanic appena stampati:

A seconda dei parametri di lavorazione, gli articoli poliuretanic prodotti con questa materia prima, le cui superfici non siano coperte, possono contenere sulla superficie tracce di sostanze (ad es. prodotti di base e derivati, catalizzatori, distaccanti) con proprietà pericolose. Evitare il contatto cutaneo con tali tracce. A tal fine, sia durante la sformatura che durante la manipolazione degli articoli appena stampati indossare almeno guanti protettivi in tessuto il cui palmo e la cui zona delle dita siano rivestiti esternamente con gomma nitrilica, PVC o poliuretano. I guanti protettivi dovrebbero essere cambiati ogni giorno. Si consiglia di indossare indumenti protettivi conformi alle condizioni della manipolazione usuale di particolari in poliuretano appena stampati.

Le modifiche effettuate sulla versione precedente sono state evidenziate a margine. Questa versione sostituisce tutte le versioni precedenti.

**Ulteriori informazioni**

Le informazioni riportate in questa Scheda di Sicurezza sono corrette secondo le nostre migliori conoscenze del prodotto al momento della pubblicazione. Tali informazioni vengono fornite con l'unico scopo di consentire l'utilizzo, lo stoccaggio, il trasporto e lo smaltimento del prodotto nei modi più corretti e sicuri. Queste informazioni non devono considerarsi una garanzia od una specifica della qualità del prodotto. Esse si riferiscono soltanto al materiale specificatamente indicato e non sono valide per lo stesso quando usato in combinazione con altri materiali o in altri processi non specificatamente indicati nel testo della Scheda di Sicurezza del Materiale.

## NOTA

El presente documento constituye el Informe I, **“Estado del Arte de las inyecciones de resina de poliuretano expandido GEOPLUS®”**, elaborado dentro del convenio entre la **Universidad Politécnica de Madrid** y **Uretek, Soluciones Innovadoras, SLU**, para la realización del proyecto de **“Investigación del método de inyección de resina de poliuretano expandido en diferentes tipos de suelos”**.

El documento ha sido elaborado, únicamente, con la documentación aportada por **Uretek, Soluciones Innovadoras, SLU**, para el presente proyecto de investigación y las conclusiones, que manan de él, son plenamente fiables en los aspectos tratados, sin que puedan ser directamente extrapolables a otros conceptos no reflejados en el presente documento.

Esta memoria consta de ciento cuarenta y una páginas numeradas de la 1 a la 141.

Madrid, 16 de Marzo de 2015.

El Director del Proyecto

Félix Escolano Sánchez

Equipo investigador:

Alberto Mazariegos de la Serna

José Ramón Sánchez Lavín