

ESTUDIO SOBRE LAS POSIBLES CAUSAS DE LOS DAÑOS EN LAS EDIFICACIONES DE UN ÁREA DEL CASCO URBANO DE PONTECESO



Abril 2010

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	1
METODOLOGÍA.....	2
DOCUMENTACIÓN UTILIZADA E INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	2
ANÁLISIS DE LOS HECHOS	3
ANÁLISIS DE LA DOCUMENTACIÓN Y DE LOS DATOS DISPONIBLES.....	6
EXCAVACIÓN REALIZADA EN LA TRAVESÍA RELLENO, PARCELA PROPIEDAD DE RESIDENCIAL GALICIA LITORAL, SL.....	6
EXCAVACIÓN DEL SÓTANO EN EDUARDO PONDAL, 21, PARCELA PROPIEDAD DE EFICACIA, COMPETENCIA Y CONSTRUCCIÓN, SL.....	15
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUBSUELO.....	18
ENCUADRE GEOLÓGICO GENERAL.....	18
INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA INVESTIGADA.....	19
UNIDADES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS.....	20
PLUVIOMETRÍA.....	27
ENSAYOS DE BOMBEO Y DE RECUPERACIÓN.....	30
METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS.....	31
ENSAYOS DE BOMBEO.....	32
ENSAYOS DE RECUPERACIÓN.....	38
ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN.....	45
CALIDAD DE LAS AGUAS.....	50
CRONOLOGÍA DE LAS GRIETAS EN LOS INMUEBLES. AUSCULTACIÓN.....	58
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS EXTENSÓMETROS.....	61
CONCLUSIONES.....	66
RECOMENDACIONES.....	68

ANEXOS

PLANOS

 SONDEOS, BOMBEO Y EXTENSÓMETROS
 RESULTADO CONSULTA A PROPIETARIOS
 ZONAS DE ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS AGUAS
 PERFILES GEOLÓGICOS

DOCUMENTACIÓN

 CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA
 ACTAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO
 CALIDAD DE LAS AGUAS
 ACTAS EXTENSÓMETROS
 ACTAS FISURÓMETROS
 PLUVIOMETRÍA
 CRONOLOGÍA EXCAVACIÓN EN PARCELA TRAVESÍA RELLENO
 ENSAYOS DE BOMBEO Y RECUPERACIÓN
 MODELO CONSULTA VECINOS DE LA ZONA AFECTADA

FOTOGRAFICO

 SONDEOS Y EXTENSÓMETROS
 REPORTAJE FOTOGRAFICO

INTRODUCCIÓN

Para atender el requerimiento del Ayuntamiento se constituyó un equipo multidisciplinar dirigido por el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Sergio Franco Bastianelli, colegiado nº 12 644, director de la empresa de ingeniería civil Ingebaires, SLU.

Se tuvo en todo momento especial cuidado en aplicar criterios y razonamientos puramente científicos o, ante su inexistencia, aquellos contrastados por la experiencia de reconocidos especialistas.

Esperamos haber sido capaces de conseguir que en este documento se vean reflejadas tanto su valía técnica como su objetividad.

ANTECEDENTES

D. Sergio Franco Bastianelli, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, recibe el encargo del Ayuntamiento de Ponteceso de realizar un estudio y elaborar un posterior *INFORME SOBRE LAS POSIBLES CAUSAS DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS A LAS EDIFICACIONES DENTRO DE UN ÁREA DEL NÚCLEO URBANO DE PONTECESO*.

En respuesta a esta solicitud se realizó la primera visita el día 20 de octubre del 2009, en la que se acordó con el Técnico Municipal la zona objeto del estudio y que sería la delimitada por la EDAR al norte; el río Anllóns al sur; el cruce con la avenida Bergantiños al este y el cruce con la calle Aduana al oeste. Se procedió al reconocimiento de esa zona en compañía del Técnico Municipal para decidir los trabajos a realizar y la metodología más adecuada para resolver las cuestiones planteadas por el consistorio.

Desde un primer momento el Ayuntamiento manifestó su preocupación por el estado general del casco urbano, pero particularmente por el de los edificios de la avenida Eduardo Pondal 18 y 14, las viviendas situadas en las inmediaciones del edificio de la avenida Eduardo Pondal 21 y las construcciones traseras añadidas de algunos edificios de esa misma avenida. Y sobre todo por el grado de implicación que en estos problemas podrían tener las promociones de viviendas recientes de la empresa Residencial Galicia Litoral, SL (Grupo Elyte) en la parcela situada en la travesía Relleno y la de la empresa Eficacia, Competencia y Construcción, SL en la parcela de la avenida Eduardo Pondal 21.

También se pudo constatar mediante un seguimiento de la prensa regional la repercusión social del problema, llegando incluso a difundirse la noticia a través de la televisión nacional.

Esta primera toma de contacto con algunos perjudicados y autoridades municipales y la patología que, a simple vista, parecían indicar las grietas observadas en las edificaciones, sirvió de orientación para decidir la metodología de trabajo más adecuada.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones se planificó este informe, se orientaron sus estudios y se elaboraron sus conclusiones.

METODOLOGÍA

Se ha programado en primer término realizar aquellas pruebas y ensayos considerados imprescindibles, para luego, con el avance de las investigaciones y los datos aportados por los resultados, ir realizando nuevos estudios y ensayos que aporten la información complementaria requerida por el avance de la investigación.

Así, a la elaboración de un perfil geológico y la medición de los niveles freáticos se sumó la colocación de seis extensómetros para monitorizar el subsuelo, se procedió a cuantificar y hacer un seguimiento de grietas mediante fisurómetros y se realizaron ensayos de bombeo y de recuperación del acuífero.

En total, se realizaron 20 sondeos distribuidos por toda la zona en estudio (Plano nº 1), y fueron utilizados de la siguiente manera: Los sondeos S-1 al S-16, para elaborar el perfil geológico y para las mediciones del nivel freático y extracción de muestras para el análisis químico del agua. Los sondeos S-17, S-18, S-19 y S-20, para los ensayos de bombeo. Para la colocación de extensómetros, los S-5, S-6, S-7, S-9, S-10 y S-11.

Además, se instalaron fisurómetros para la auscultación de grietas en el hueco de escalera del edificio de Eduardo Pondal 14 y en las viviendas del 4º derecha y 5º derecha del mismo edificio.

Todos estos trabajos proporcionaron información relativa a:

- Las cotas del nivel freático en la zona y su comportamiento respecto al régimen mareal y la pluviometría.
- El comportamiento del nivel freático ante descensos debidos a bombeo.
- El radio de influencia del bombeo.
- Cuantificación y evolución de movimientos del subsuelo.
- Cuantificación y evolución de grietas.
- Los parámetros físicos del subsuelo: transmisibilidad, colapsabilidad, granulometría, consolidación, resistencia, permeabilidad y plasticidad.
- La caracterización química del agua freática y física de de los ríos Rego de los Prados y Pelamio

DOCUMENTACIÓN UTILIZADA E INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para la elaboración de este documento se dispuso de la siguiente información:

- Documentación del PGOU de Ponteceso a octubre del 2009.
- Estudio Geotécnico referencia GEO-07031401 de la empresa Geonor para la parcela propiedad de la sociedad Residencial Galicia Litoral, SL. (Grupo Elyte).
- Estudio geotécnico elaborado por Labornosa, SL.
- Ensayos de laboratorio y de campo realizados por Labornosa, SL.
- Resultados de la consulta realizada a los vecinos de la zona afectada.
- Documentación relativa a las fases de excavación en la parcela propiedad de la sociedad Residencial Galicia Litoral, SL.

- Datos pluviométricos de los años 2007, 2008 y 2009 y de régimen mareal proporcionados por Meteogalicia.
- Atlas Climatológico de Galicia, elaborado y editado por la Xunta de Galicia.
- Datos históricos referentes a la calidad del agua de la estación 14.RW.10.070 (Anllóns) proporcionados por Augas de Galicia.
- Resultados del análisis químico del agua del nivel freático.
- Resultados de los análisis *in situ* del agua de los ríos Pelamio y Rego de los Prados, y de la marisma.
- Mediciones de los fisurómetros de la avenida E. Pondal nº 14 realizados por Labornosa, SL.
- Mediciones de los extensómetros a 15/04/10 realizados por la empresa Instrumentación Geotécnica y Estructural, SL (Inge).
- Informe de patología y seguimiento de fisuras de la empresa Enmacosa, SA. para el Banco Gallego.
- Mediciones al 1/02/10 de las pendientes en cuatro establecimientos comerciales de la avenida Eduardo Pondal: “Santy fotógrafo” y las oficinas del Banco Gallego, de La Caixa y de Reale Seguros.
- Inspecciones visuales realizadas los días 20/10/09, 30/10/09, 4/11/09, 11/11/09, 19/11/09, 27/11/09, 4/12/09, 17/12/09, 15/01/10, 1/02/10 y 17/02/10.
- Documentación fotográfica aportada por el propietario del comercio “Santy fotógrafo” y por la empresa Residencial Galicia Litoral, SL.
- Información varia proporcionada por la oficina técnica del Ayuntamiento.

ANÁLISIS DE LOS HECHOS

Con toda la información recogida en la primera visita y los datos disponibles relativos a la geología del terreno, parecía evidente que nos encontrábamos frente a una patología causada por asientos de las cimentaciones, provocados por una consolidación del terreno. Esta situación estaba evidenciada por las grietas de tracción a 45° presentes en edificaciones con cimentación superficial o pilotada a poca profundidad, por las grietas y deformaciones en las aceras y por el desplome que presentaban algunos edificios.

El proceso de consolidación de un suelo en general, y con niveles freáticos tan elevados como éste en particular, se produce cuando a causa de las sobrecargas de trabajo y las fuerzas estáticas de la gravedad que actúan sobre él, el agua de sus huecos es expulsada de forma gradual. Por consiguiente el terreno desciende, se consolida. La duración de este proceso depende de varios factores pero, fundamentalmente, del tipo de suelo, siendo para los orgánicos un proceso difícil de cuantificar.

Dado que las grietas y asientos del terreno ya venían experimentándose de forma lenta, “natural”¹, desde hacía ya varios años y sin grandes consecuencias, salvo la ya comentada y quizá más grave del desplome de algunos edificios, en esta ocasión parecían existir otras causas que estaban acelerando ese proceso de consolidación y, por consiguiente, un descenso del terreno más brusco.

Descartadas acciones de tipo dinámico como sismo o altas intensidades de tráfico pesado por la zona como algunas de las causas probables de estos asientos, este aceleramiento del

¹ Este descenso “natural” es mayor en las zonas próximas al río Pelamio, debido al régimen mareal.

proceso de consolidación sólo podía estar provocado o por un descenso importante del nivel freático o por una sobrecarga adicional del terreno, o por una combinación de ambas, produciendo una modificación del equilibrio entre las tensiones neutras y efectivas que actuaban hasta entonces en el subsuelo: al ser expulsada el agua, la tensión neutra que soportaba es transferida al terreno, sobrecargando su tensión efectiva. Esto produjo la consolidación (el descenso) de las capas de rellenos antrópicos y de fangos.

Por consiguiente, aquellas estructuras cimentadas en esas capas sufrieron asentamientos, de tipo diferencial en algunos casos², y las pilotadas rozamiento negativo que sobrecargó los pilotes.

La excavación del solar de la travesía Relleno, de aproximadamente 10 m por debajo del nivel freático³ finalizada en noviembre del 2008 y el sistema mixto de muros pantalla y pilotes utilizado para la ejecución de los sótanos era una de las señaladas como posible causante del descenso del nivel freático. Pero a menos de 100 m, en las inmediaciones del edificio de Eduardo Pondal 21 también existían problemas similares. Este edificio de sótano, bajo, tres plantas y bajo cubierta, construido con losa de cimentación, también era otro de los señalados como posible causante de problemas, tanto por la depresión del nivel freático realizada en su fase de excavación como ya finalizada la construcción, por un posible fenómeno de asentamientos inducidos.

En cuanto al edificio de Eduardo Pondal nº 18, creemos que el estado de deterioro al que ha llegado no puede ser atribuido a los motivos ya comentados, sino a factores inherentes al edificio y evidenciados por una patología estructural muy concreta.

Tres podrían ser los causantes, a nuestro entender, de la situación actual de este edificio:

- Problemas en la fase constructiva o de cálculo de la cimentación.
- Proximidad de la cimentación al lecho del río Rego de los Prados, y por lo tanto sometido a los cambios de cota del nivel freático producidos por el efecto del régimen mareal⁴ que podrían afectar una cimentación defectuosa.
- Posible socavación en la cimentación debida al desvío de casi 90° del río Rego de los Prados que se produce debajo de la calzada, frente a este edificio y que aparentemente impacta en su muro de sótano, debajo de la acera.

A fecha de redacción de este informe el edificio, desalojado hace unos meses, está apuntalado y a la espera de que se ejecute la solución técnica a su posible ruina.

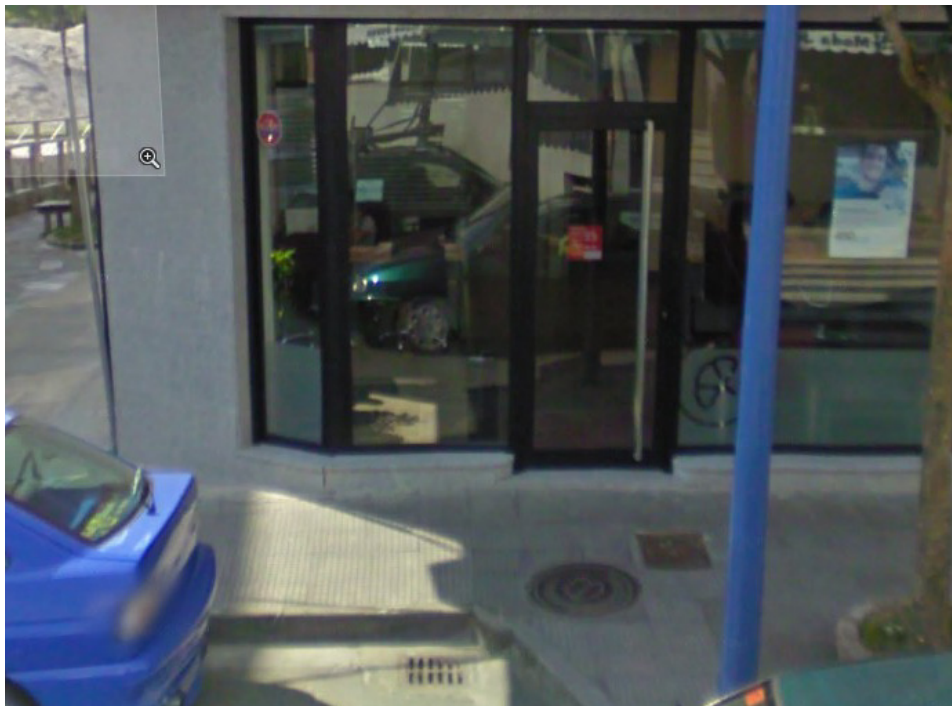
Finalmente y como información complementaria, reproducimos las fotos que el sistema Street View © de Google © tomó del edificio en septiembre del 2009. Se puede apreciar que

² Decimos que un asentamiento es diferencial cuando en una estructura de cimentación, una parte de ella sufre los asentamientos respecto a otra que permanece inalterada.

³ Según el informe geotécnico que encargó la empresa Residencial Galicia Litoral, SL a Geonor, SA, el nivel freático medio en la parcela de su propiedad era, en abril del 2007, de 1,05 m.

⁴ Es decir, que el flujo-reflujo - las oscilaciones de nivel próximas al canal - serían causantes de una pérdida de finos por lavado de los materiales.

no existen deformaciones ni grietas en las aceras, y el edificio parece estar en perfectas condiciones, por lo menos externamente.

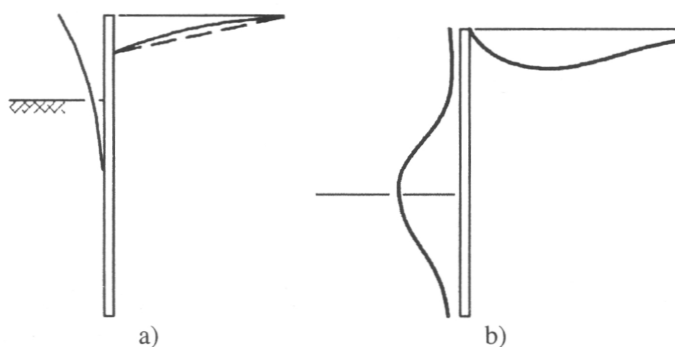


Fotos extraídas del Street View ©, de aproximadamente septiembre del 2009

ANÁLISIS DE LA DOCUMENTACIÓN Y DE LOS DATOS DISPONIBLES

EXCAVACIÓN REALIZADA EN LA TRAVESÍA RELLENO. PARCELA PROPIEDAD DE RESIDENCIAL GALICIA LITORAL, SL. (GRUPO ELYTE)

Toda ejecución de una estructura de muros pantalla produce inevitablemente movimientos en la misma pantalla y en el terreno circundante. Estos movimientos del terreno están ligados estrechamente a la deformación de los muros pantalla durante la excavación y éstos, a su vez, dependen de la condición de arriostramiento. Simplificando, se pueden distinguir dos modos de deformación de la pantalla:



La figura 1.a) muestra la deformada de una pantalla en voladizo. La figura 1.b) la de una pantalla arriostrada.

Este caso particular es asimilable al modelo de deformación b) y coincide con la deformación que presenta la acera norte de la propia excavación, que experimentó descensos importantes como era previsible según este modelo de deformación. Sin embargo, en la acera sur estas deformaciones son prácticamente inexistentes, posiblemente a causa del malecón.



Respecto a la tipología constructiva, la estructura del sótano fue realizada mediante un sistema mixto de muros pantalla y pilotes. Los muros pantalla fueron excavados hasta la cota del manto impermeable y los pilotes, intercalados cada dos pantallas, excavados hasta la cota de roca. De esta manera el recinto resultante es prácticamente estanco y sólo es necesario bombear el agua confinada dentro de él, sin afectar en teoría el nivel freático. Durante el proceso de ejecución de los muros pantalla y pilotes tampoco fue necesario deprimir, según comentarios de la empresa.

La estructura del sótano consta de 71 pantallas y 34 pilotes. Existen otros pilotes en la parte central del solar, pero no son relevantes para la finalidad del estudio.

En cuanto a la planificación y cronología de estos trabajos, la ejecución de los sótanos comenzó el día 21 de julio del 2008 y finalizó el 25 de noviembre de ese mismo año. La secuencia de ejecución comenzó primero con los muros pantalla y pilotes del lindero y luego, partiendo desde allí, un muro pantalla a cada lado del solar, con sentido de avance oeste-este, ejecutándose aproximadamente un muro pantalla o pilote diario, de forma intercalada (pares-impares).

En el calendario de ejecución provisto por la empresa y que se adjunta en el anexo de documentación, se aprecia un inicio con buen ritmo de trabajo, hasta el día 12 de septiembre, que se ejecuta el muro pantalla nº 57 y el pilote nº 12, se produce una interrupción. Luego, y de forma discontinuada hasta fin de ese mismo mes, se van ejecutando los muros pantalla restantes 69, 67, 59, 61 y 65. En octubre se finalizan todos los muros pantalla con el nº 63. El 16 de ese mes se continúa con los pilotes, que habían sido interrumpidos el día 23 de septiembre, para continuar de forma discontinua hasta el día 25 de noviembre con el pilote 25B y finalizar con él el cierre del recinto.

La foto siguiente, datada el 15 de diciembre del 2008, fue realizada una vez finalizada la ejecución de los pilotes y los muros pantalla y antes de comenzar la excavación. El terreno se encuentra a una cota aproximada de -1,50 m respecto al nivel de la acera y no se

aprecian grandes filtraciones ni la presencia del nivel freático (que antes de los trabajos estaba situado en la cota -1,05 m), y el terreno está bastante seco (Fuente: Grupo Elyte)



Una vez finalizada la ejecución de los muros pantalla y pilotes en diciembre del 2008, se comenzó a extraer la tierra del recinto.

Esta otra fotografía fue tomada ya en fase de excavación y luego de colocadas las primeras riostras metálicas. La retroexcavadora está trabajando a una cota aproximada de -7,00 m respecto al nivel de la acera y tampoco se aprecian fugas ni filtraciones, y el nivel freático es inexistente. Como en la foto anterior, el terreno está bastante seco (Fuente: Grupo Elyte)



Respecto a las técnicas constructivas utilizadas, han sido las apropiadas para estos casos. La metodología y la maquinaria utilizadas han sido las idóneas.

Sin embargo, lo cierto es que en abril del 2007 el nivel freático en la parcela era de -1.05 m de media y en noviembre del 2009, en los sondeos próximos (el S-5, S-6, S19, S20 y S-12) el nivel freático era bastante inferior, llegándose a registrar descensos de entre 3,30 m y 1,80 m:

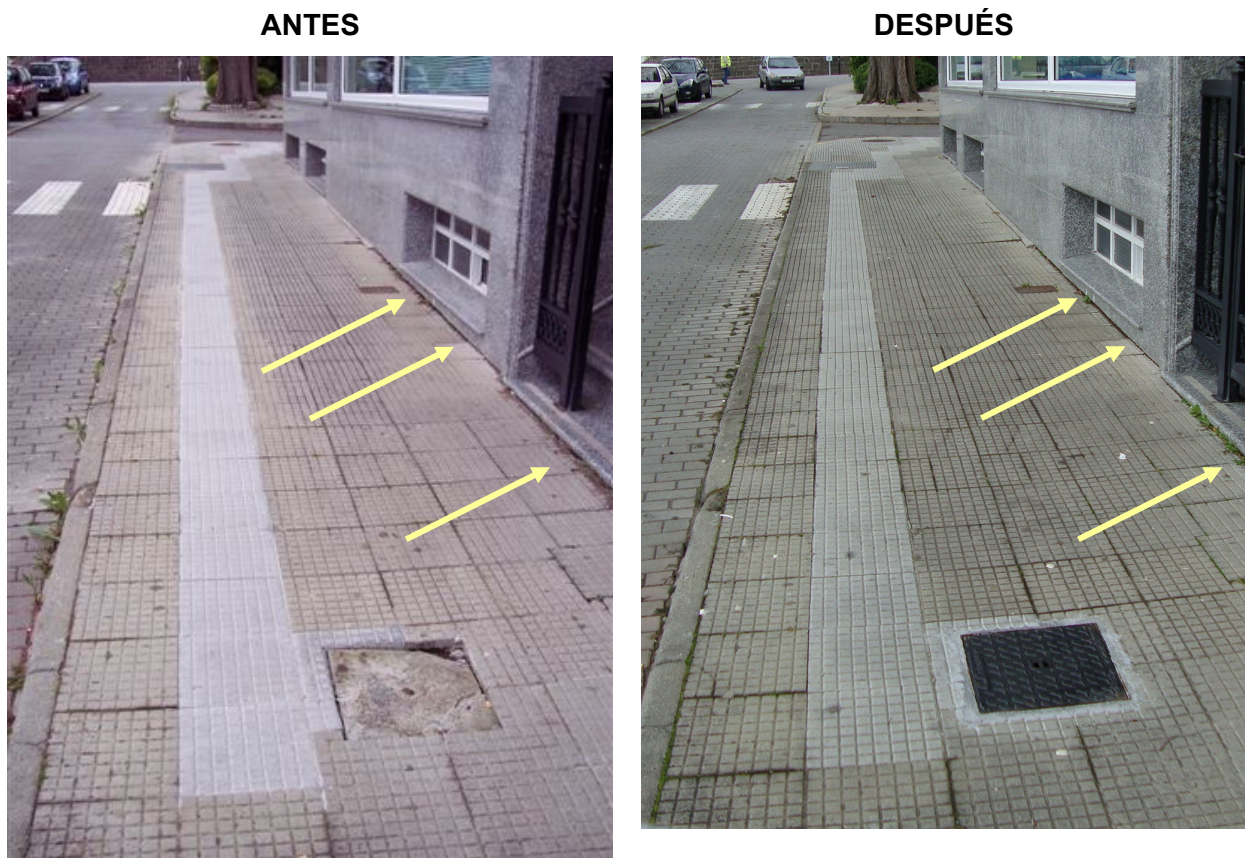
Sondeo	Nivel más alto	Fecha lectura	Nivel más bajo	Fecha lectura	Diferencia de cota (m)
S-5	4,30 m	24/11/09	--	--	--
S-6	4,00 m	30/11/09	--	--	--
S-12	3,37 m	18/02/10	3,70 m	19/01/10	0,33
S-19	3,20 m	11/03/10	3,87 m	16/03/10	0,67
S-20	2,86 m	11/03/10	3,11 m	16/03/10	0,25

Nota: donde no se indica el dato significa que no ha habido una segunda lectura

La causa de esta no recuperación del nivel freático puede ser atribuida al “obstáculo” que en la actualidad ofrece el muro pantalla de los sótanos del edificio a una posible recarga del acuífero desde el Anllóns que antes sí se produciría.

En las visitas realizadas se pudieron apreciar también descensos en la acera norte del otro lado del vial, que ya acumulaba un descenso importante que después pudo comprobarse era debido a filtraciones de una bajante de pluviales que conecta con la arqueta de la propia acera.

Si hacemos una comparativa del estado de algunas aceras de los alrededores antes y después de la excavación⁵, tenemos:



Acera en el paseo Fluvial, frente a la plaza del Relleno. No se aprecian descensos

⁵ Fotos cedidas por el Grupo Elyte para el estado anterior y tomadas los días 17/12/09 y 15/01/10 para el posterior

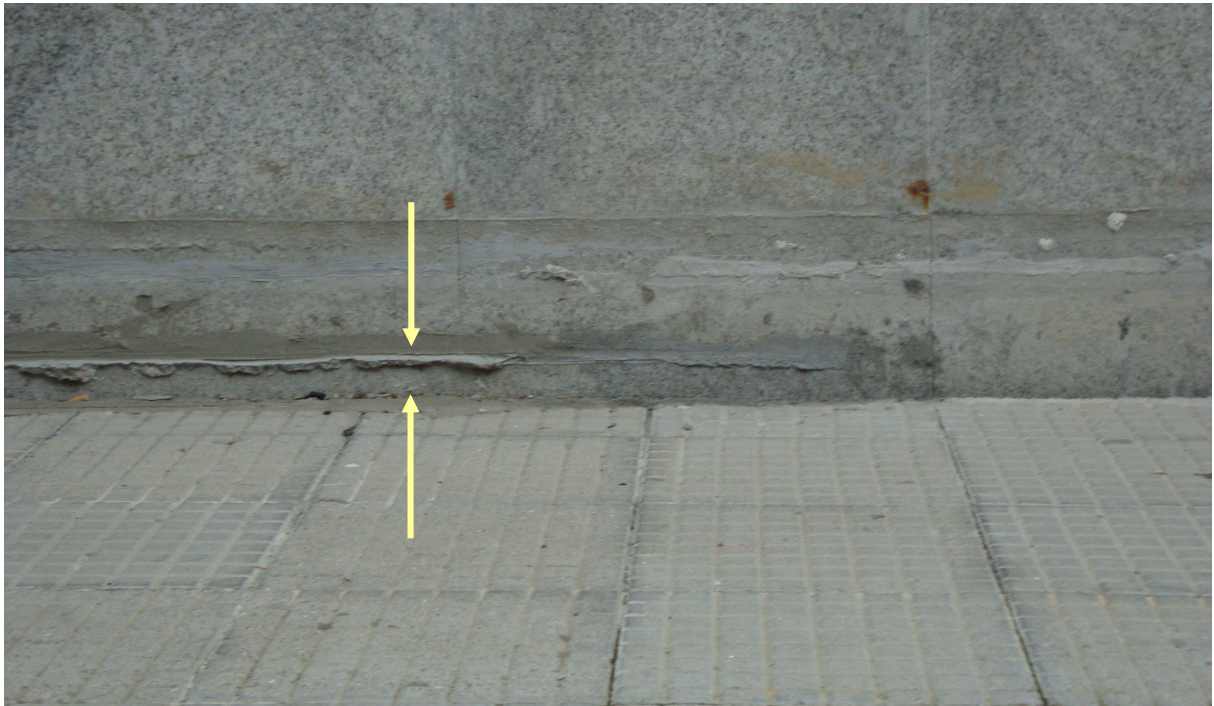
ANTES



DESPUÉS



Acera en travesía Relleno, frente al portal del nº 1. En este caso se puede apreciar un descenso.
Ver detalle en las dos fotos siguientes.



Detalle de la foto anterior, donde sí se aprecia un descenso de la acera de entre 4 y 5 cm que se podría atribuir a la excavación. Las otras marcas ya existían (según documentación aportada).



Ídem la foto anterior. Se aprecia el descenso existente en la acera, aunque es difícil de cuantificar.
Foto tomada desde el solar antes de finalizar el vallado del mismo.

ANTES



DESPUÉS

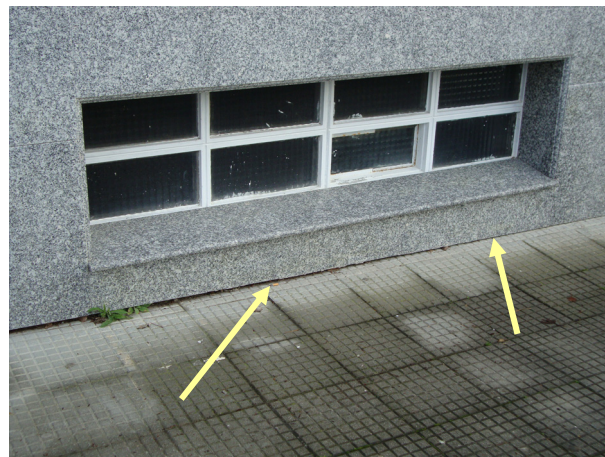


Acera en el paseo Fluvial, esquina con la plaza del Relleno (bajo ocupado por el grupo Elyte).
Aquí tampoco se aprecian descensos significativos.

ANTES



DESPUÉS



Acera del paseo Fluvial (bajo ocupado por el grupo Elyte). No hay descensos.

Como se dijo al inicio de este apartado, toda ejecución de una estructura de muros pantalla produce inevitablemente movimientos en la misma pantalla y en el terreno circundante.

Existen gráficos basados en casos reales para la estimación de los movimientos, tanto horizontales como verticales, provocados por un sistema de muros pantalla similar a éste, pero son aplicables a terrenos con alto contenido de arcillas. Para el tipo de terreno con el que nos encontramos no existen referencias bibliográficas abundantes, ni respaldo científico como para avalar una cuantificación o alcance de estos movimientos.

Antes hablábamos de la cronología de la excavación y apuntábamos que hubo amplios espacios de inactividad, especialmente hacia el final. Pero también hubo lapsos de tres, cuatro o hasta cinco días de inactividad debidos a festivos, etc. Si bien también dijimos que las técnicas y maquinaria fueron las apropiadas, esto no quita que ciertas metodologías en la ejecución hayan colaborado a la depresión del nivel freático de forma involuntaria.

Este razonamiento debe verse a la luz de los resultados de los ensayos de bombeo y recuperación, en los que se señala la alta “sensibilidad” que tiene el nivel freático a los bombeos, y un proceso de excavación interrumpido podría asimilarse a un bombeo teniendo en cuenta las siguientes circunstancias.

Según la secuencia de los trabajos, se ejecutaban dos pantallas diarias de 2,5 m de ancho cada una y hasta unos 20 m de profundidad de media. Estamos hablando de un volumen extraído de fangos mareales y rellenos de aproximadamente unos 40 m³ por día⁶. Es cierto que esto estuvo acompañado del necesario aporte de lodos tixotrópicos para sostener las paredes de la excavación, pero podría no ser suficiente y el agua escurrir y provocar un descenso del nivel freático.

⁶ Se ha estimado un espesor de muro pantalla de 0,40 m

El radio de influencia en los ensayos de bombeo, para bombeos de 5 días de duración y no más de 10 m³/día de caudal, es de un mínimo de 200 m. Extrapolando estos datos a la situación comentada, vemos que podría ser fácilmente asimilable la metodología del ensayo con las características de la excavación.

Este radio de influencia de 200 m es para áreas sin obstáculos, pero las edificaciones circundantes y otros obstáculos de tipo natural o artificial hacen que para este caso concreto podamos circunscribir la zona afectada al río Pelamio al este, que haría como amortiguador del alcance del bombeo; la avenida Eduardo Pondal al norte que, por sus características constructivas, haría de obstáculo artificial; la plaza del Relleno al oeste, que por sus características geológicas haría de obstáculo natural; y el río Anllóns al sur.

Si a esto, reiteramos, le sumamos que la propia estructura de sótano podría hacer de obstáculo a una posible recuperación natural del nivel freático desde el Anllóns, se explica que el nivel freático actual no haya vuelto a su cota original de abril del 2007.

EXCAVACIÓN DEL SÓTANO EN EDUARDO PONDAL, 21. PARCELA PROPIEDAD DE EFICACIA, COMPETENCIA Y CONSTRUCCIÓN, SL.

El edificio, ya construido, consta de sótano, planta baja, tres plantas y bajo cubierta.

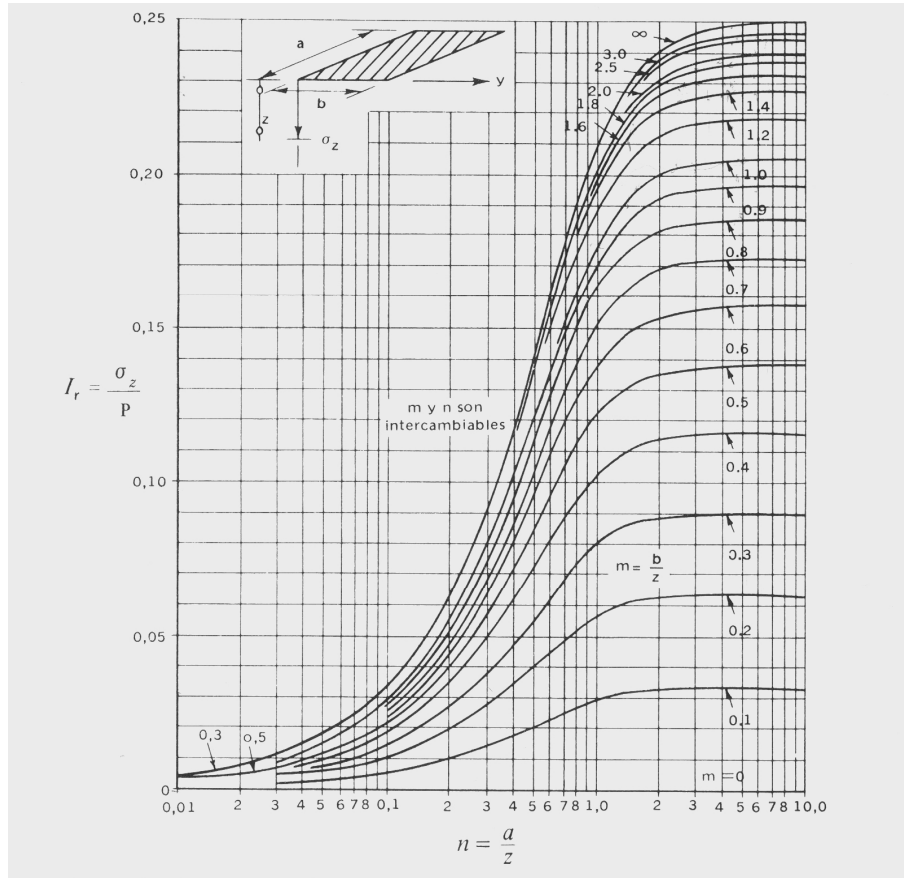
Según información proporcionada por el Ayuntamiento la excavación comenzó en junio de 2007. El sistema de cimentación elegido fue el de losa, y su ejecución demandó el agotamiento del nivel freático existente en ese momento, que suponiendo que a día de hoy se haya recuperado totalmente, podría ser similar al actual de 1,00 m a 1,80 m⁷. Esta depresión del nivel freático fue de por lo menos 2,00 m para evitar las fluctuaciones ocasionadas por el régimen de mareas y crear una zona de trabajo a unos 4,00 m de profundidad sin entradas de agua. Teniendo en cuenta que los ensayos de bombeo y recuperación indican que el nivel freático es extremadamente sensible a los bombeos y con un gran radio de influencia, es muy factible que este abatimiento haya ocasionado los asientos existentes a una distancia considerable de las inmediaciones del edificio.

En la actualidad, ya con el edificio terminado, resta determinar si podría estar provocando asientos inducidos debido a la sobrepresión añadida al subsuelo por el peso de la estructura. Esta tensión estaría en función del peso del edificio y la superficie que ocupa en planta, que la estimamos en aproximadamente de 0,5 k/cm² a 0,7 k/cm², sin considerar sobrecargas de uso.

Por otro lado el peso del material extraído durante la excavación (de densidad media 1,6 g/cm³), transmitía al plano de cimentación actual una tensión de 0,5 k/cm² aproximadamente, lo que por un lado significa que al verse modificado el estado tensional original del terreno, el edificio es susceptible de sufrir asientos al ser la tensión actual transmitida mayor que la existente antes de la excavación; y por el otro, que la tensión adicional transmitida al subsuelo por la estructura es bastante pequeña.

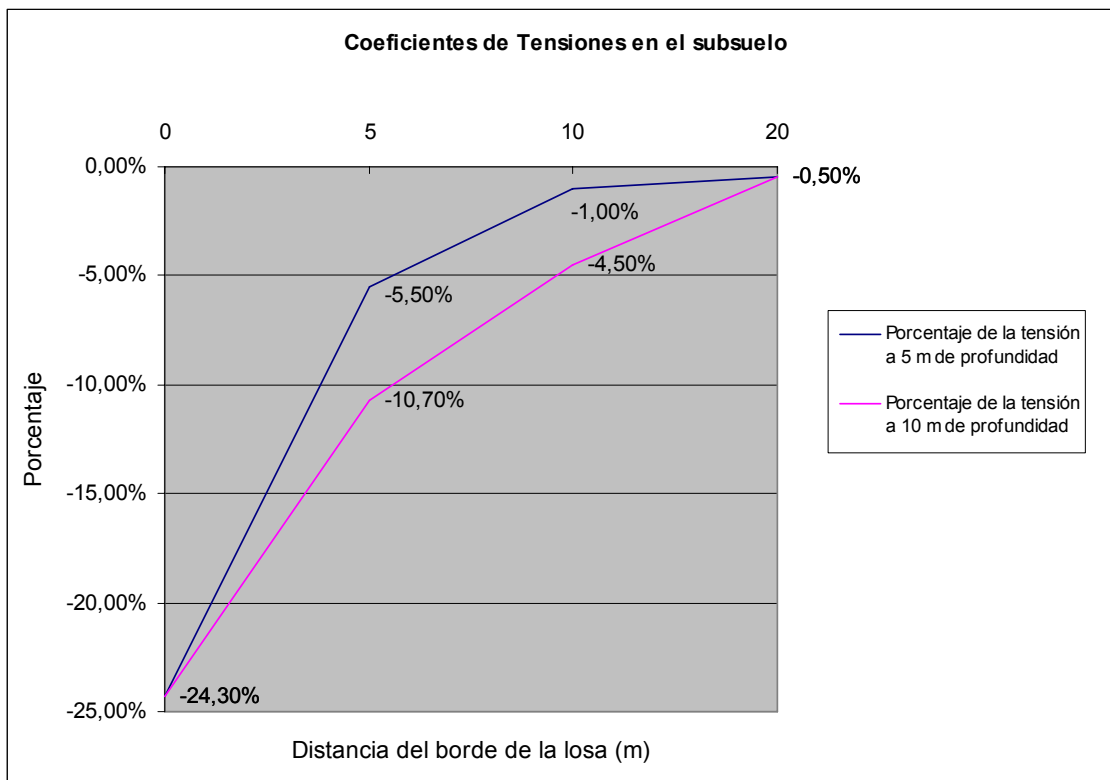
Admitiendo que la losa se comporta como rígida y de acuerdo a la caracterización zonal según el geotécnico, considerando que el sólido se comporta como un semiespacio de Boussinesq, aplicando el gráfico de Fadum se podrían establecer las tensiones propagadas en las inmediaciones.

⁷ información obtenida del sondeo S-2.



Ábaco de Fadum utilizado para calcular la transmisión de tensiones de la losa de cimentación

El gráfico siguiente, elaborado con los datos obtenidos a través de Fadum, indica los porcentajes de tensión transmitidos al subsuelo a 5 m y 10 m de profundidad y a distintas distancias horizontales, medidas desde el borde de la losa:



Por ejemplo, a 10 m de distancia del borde de la losa, las tensiones transmitidas al terreno son del 1% y del 4,5 % de la tensión máxima, a 5 m y 10 m de profundidad respectivamente. Estas tensiones son casi despreciables y no creemos factible que a día de hoy y en estas condiciones se estén produciendo asentamientos inducidos.

De hecho, si comparamos el estado del muro de bloques de cemento lindero con el nuevo vial de la parte trasera de la vivienda de Eduardo Pondal 27, tanto en la fase de ejecución de la estructura del edificio, foto derecha, como en la foto izquierda de fecha 27/11/09, a simple vista no se aprecia una diferencia de tamaño de la grieta:



CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SUBSUELO

ENCUADRE GEOLÓGICO GENERAL

La cartografía geológica de la zona se encuentra recogida en la hoja nº 7 (Santiago de Compostela) a escala 1:200.000 y a escala más detallada en la hoja nº 43 (Laxe) a escala 1:50.000, del Mapa Geológico de España publicado por el IGME, en cuya memoria se basa la siguiente descripción.

En un enfoque geológico regional, la zona se sitúa dentro del Macizo Hespérico, constituido por los materiales precámbricos y paleozoicos de la península, deformados durante la Orogenia Hercínica. El Macizo se subdivide en zonas por criterios paleogeográficos, estructurales, metamórficos y de magmatismo. De acuerdo con la división propuesta por Lotze (1945) y revisada por Julivert (1972), se encuentra enclavada en la Zona Centro-Ibérica, zona muy heterogénea que comprende áreas con metamorfismo de alto grado y abundantes granitoides y áreas sin metamorfismo o bien con metamorfismo muy débil. Una peculiaridad de esta zona es la existencia en Galicia y norte de Portugal de varios macizos catazonales.

En la zona del núcleo urbano de Ponteceso el sustrato rocoso está constituido por terrenos metamórficos, con esquistos (de varios tipos), paragneises con metablastos, cuarzo-esquistos, filitas y metagrauvas en una sucesión rítmica con niveles turbidíticos. Dentro de los esquistos y paragneises se encuentran algunos cuerpos de anfibolitas y esquistos anfibólicos. Estos materiales presentan metamorfismo regional débil, constituyentes del denominado Complejo de Noia.

Estos materiales del sustrato rocoso presentan un perfil de alteración, de manera que generalmente en superficie se encuentran alterados a suelos limosos o arenoso-limosos. Sobre este manto de alteración se desarrollan depósitos marinos que en el núcleo urbano de Ponteceso se encuentran directamente relacionados con una gran llanura mareal desarrollada a partir del estuario del río Anllóns.

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA DE LA ZONA INVESTIGADA

Desde el punto de vista geológico la zona investigada se trata de un extenso relleno antrópico realizado hace varias decenas de años.

Este relleno se vertió sobre el terreno natural existente, constituido por un potente depósito de fangos de llanura mareal, ligados al desarrollo del estuario del río Anllóns.

Este relleno superior es bastante heterogéneo, tanto en su composición como en su grado de compactación, aunque en términos generales presenta más compacidad que el depósito fangoso infrayacente. Este relleno es el que ha facilitado la urbanización de lo que hoy es parte del núcleo urbano de Ponteceso, desarrollado a partir de la avenida Eduardo Pondal. En épocas antiguas esta zona urbanizada sufría constantes inundaciones, debido al aumento del nivel freático provocado por la cercanía del río Anllóns y de los arroyos tributarios del mismo que surcan la zona

El depósito fangoso tiene una potencia media de unos 15 m y está constituido por varias secuencias fundamentalmente arcillosas, limosas y arenosas finas, a partir de un horizonte basal grueso integrado por cantos, gravas y arena gruesa. El depósito mareal se caracteriza por una compacidad floja-muy floja y por estar saturado casi en su totalidad. La presencia de materia orgánica, el contenido en finos y su saturación podrían ser las principales causas que condicionan su proceso de consolidación que, como queda de manifiesto en los ensayos edométricos realizados, aún está lejos de finalizar.

En este sentido, la capa de rellenos antrópicos superiores, de mayor compacidad, funcionaría como una capa semirrígida que transmitiría tanto su peso propio como las sobrecargas que soporte (soleras, tráfico, cimentaciones...) al depósito fangoso inferior de compacidad floja y en proceso de consolidación.

De igual manera, en el caso de edificios cimentados mediante pilotaje, la contribución de la unidad fangosa a la resistencia por fuste de los pilotes podría considerarse como despreciable.

UNIDADES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

Teniendo en cuenta las características de los materiales detectados en las investigaciones realizadas, se ha estimado la presencia de los siguientes niveles:

➤ *RELLENO ANTRÓPICO*

Material heterogéneo, tanto en su composición como en su grado de compactación, características texturales, etc. Por lo general está compuesto por material arenoso-limoso, terroso de color marrón mezclado con fragmentos rocosos de gran variedad de tamaños, restos de ladrillo y otros tipos de escombros, restos vegetales, etc. Por lo general tiene una compactación floja-muy floja, aunque en algunas zonas se encuentra constituido por materiales más gruesos, tipo bolos. Aunque el espesor de este nivel varía, se le puede atribuir un espesor medio de unos 3,00 m.

➤ *DEPÓSITO MARINO. FANGO DE ORIGEN MAREAL*

Material limoso-arenoso, de color negro, con fragmentos de conchas y abundantes restos vegetales. Rico en materia orgánica y olor fétido. Se observan tramos más arenosos de color grisáceo y tramos más limosos de color negro, en función de la variación de energía de las condiciones deposicionales. En función de la composición la plasticidad varía desde poco a bastante plástico. Compactación floja-muy floja.

Este depósito fangoso presenta en su base una unidad gruesa, constituida por arenas, gravas y cantos.

Esta unidad ha sido caracterizada mediante ensayos de laboratorio, cuyos principales resultados se resumen en la tabla de la página siguiente. Además de estos ensayos, se han realizado dos ensayos de consolidación unidimensional en edómetro.

Actuación de Laboratorio	09345-001	09345-002	09345-004	09345-005	09345-006
Fecha de entrada	12/11/2009	18/12/2009	14/01/2009	14/01/2009	14/01/2009
Tipo de muestra	MI-2	MI-1	MI-1	MI-2	MI-3
Sondeo	S-1	S-1	S-3	S-5	S-6
Cota inicial	7,50	1,20	6,00	4,50	13,70
Cota final	8,10	1,80	6,60	5,10	14,30

Granulométrico UNE 103101:95					
% que pasa tamiz UNE 80	100,0	---	100,0	100,0	100,0
% " " UNE 63	100,0	---	100,0	100,0	80,0
% " " UNE 50	100,0	---	100,0	100,0	63,0
% " " UNE 40	100,0	---	100,0	100,0	50,0
% " " UNE 25	100,0	---	100,0	100,0	40,0
% " " UNE 20	100,0	---	100,0	100,0	25,0
% " " UNE 12,5	100,0	---	100,0	100,0	20,0
% " " UNE 10	100,0	---	100,0	100,0	12,5
% " " UNE 5	100,0	---	100,0	100,0	10,0
% " " UNE 2	100,0	---	100,0	100,0	5,0
% " " UNE 0,40	98,6	---	99,5	78,9	2,0
% " " UNE 0,080	66,0	---	28,8	62,6	0,4

Límites de Atterberg					
Límite Líquido UNE 103103:94	50,5	---		116,0	23,0
Límite Plástico UNE 103104:93	45,5	---		87,5	19,5
Índice de Plasticidad	5,0	---	NP	28,5	3,5

Clasificación del suelo					
Índice de Grupo	0	---	0	16	0
Clasificación H.R.B.	A-5	---	A-2-4	A-7-5	A-4
Clasificación Casagrande	MH	---	SM	MH	SM

Materia Orgánica UNE 103204:93 %	3,80	---	---	---	---
---	------	-----	-----	-----	-----

Densidad - Humedad					
Humedad en estufa UNE 103501:94 %	83,3	---	55,1	130,8	18,6
Densidad Aparente g/cm ³	1,47	---	1,59	1,21	2,04
Densidad Seca g/cm ³	0,80	---	1,03	0,52	1,72
Densidad relativa de las partículas de un suelo UNE 103302:94	2,308	---	---	2,532	---

Compresión Simple UNE 103400:98					
Carga de rotura o 15% def, q _u Kp/cm ²	---	---	0,23	---	0,27
Deformación en rotura, %	---	---	9,0	---	14,5

Ensayo de Colapso NLT-254:99					
Índice de colapso I, %	0,18	0,08	---	---	---
Potencial porcentual de colapso I _c , %	0,14	0,07	---	---	---

➤ **MANTO ALTERACIÓN GNEIS (GA V-IV)**⁸

Se trata del producto de la alteración in situ del sustrato rocoso infrayacente, constituido por un gneis con metablastos y *boudins* de cuarzo. El suelo resultante de la descomposición es de naturaleza limosa o areno-limosa, color verdoso y con poca plasticidad. El grado de alteración disminuye progresivamente en profundidad, pasando de un grado V a IV y posteriormente al sustrato rocoso. La compacidad aumenta desde compacidad media hasta densa-muy densa.

En el siguiente cuadro resumen hemos indicado en color rojo la cota de los fangos y rellenos antrópicos para dar una idea aproximada del espesor de terreno que sufrió las consolidaciones que ya comentamos. Aquellas construcciones, recordamos, que están cimentadas dentro de estas cotas son las que presentan en la actualidad problemas de asientos por fallos en la cimentación.

Así, podríamos también decir, a modo orientativo, que a partir de las cotas con gneises de grado de alteración cinco (GA V), indicadas en color verde, se podría considerar contribución a la resistencia por fuste en pilotes.

Sondeo	Profundidad total alcanzada (m)	Perfil del terreno	Nivel Freático (m) ⁹
S-1	37,60	00,00 m - 03,00 m: Relleno antrópico 03,00 m - 15,60 m: Fango de origen mareal 15,60 m - 17,10 m: Gravas arenosas de origen mareal 17,10 m - 24,50 m: Manto alteración gneis GA V 24,50 m - 36,15 m: Manto alteración gneis GA IV 36,15 m - 37,60 m: Gneis GA III	4,30
S-2	22,75	00,00 m - 00,70 m: Relleno antrópico 00,70 m - 14,10 m: Fango de origen mareal 14,10 m - 22,75 m: Manto alteración gneis GA V-IV	1,60
S-3	23,10	00,00 m - 01,20 m: Relleno antrópico 01,20 m - 13,50 m: Fango de origen mareal 13,50 m - 15,00 m: Gravas arenosas de origen mareal 15,00 m - 20,70 m: Manto alteración gneis GA V 20,70 m - 23,10 m: Manto alteración gneis GA IV	2,00
S-4	21,60	00,00 m - 03,00 m: Relleno antrópico 01,00 m - 14,90 m: Fango de origen mareal 14,90 m - 16,10 m: Gravas arenosas de origen mareal 16,10 m - 16,50 m: Manto alteración gneis GA IV 16,50 m - 21,60 m: Manto alteración esquistos GA IV	1,50
S-5	14,10	00,00 m - 02,70 m: Relleno antrópico 02,70 m - 07,60 m: Fango de origen mareal 07,60 m - 08,80 m: Manto alteración gneis GA IV 08,80 m - 12,25 m: Gneis GA III 12,25 m - 14,10 m: Gneis GA II	4,30

⁸ Los gneises son rocas metamórficas similares a los granitos. Se clasifican en grados de alteración de acuerdo a su meteorización, desde grado I roca sana o fresca hasta grado VI suelo residual, siendo la de grado I la de mejor calidad.

⁹ En el momento de realizar el sondeo.

S-6	20,00	00,00 m - 02,10 m: Relleno antrópico 02,10 m - 14,90 m: Fango de origen mareal 14,90 m - 15,70 m: Gravas arenosas de origen mareal 15,70 m - 20,00 m: Gneis GA IV-III.	4,00
S-7	22,50	00,00 m - 03,00 m: Relleno antrópico 03,00 m - 15,10 m: Fango de origen mareal 15,10 m - 16,00 m: Gravas arenosas de origen mareal 16,00 m - 18,80 m: Manto alteración gneis GA V 18,80 m - 24,40 m: Manto alteración gneis GA IV 24,40 m - 22,50 m: Gneis GA III	3,90 (fin sondeo)
S-8	10,00	00,00 m - 02,20 m: Tierra vegetal 02,20 m - 03,60 m: Manto alteración gneis GA V 03,60 m - 10,00 m: Manto alteración gneis GA IV	2,85
S-9	11,70	00,00 m - 02,70 m: Relleno antrópico 02,70 m - 09,00 m: Fango de origen mareal 09,00 m - 11,70 m: Manto alteración gneis GA IV	3,30
S-10	27,75	00,00 m - 02,60 m: Relleno antrópico 02,60 m - 15,00 m: Fango de origen mareal 15,00 m - 16,50 m: Gravas arenosas de origen mareal 16,50 m - 27,75 m: Manto alteración gneis GA V	3,70 (fin sondeo)
S-11	15,00	00,00 m - 00,20 m: Solera 00,20 m - 01,80 m: Relleno antrópico 01,80 m - 09,60 m: Fango de origen mareal 09,60 m - 11,85 m: Gravas arenosas de origen mareal 11,85 m - 15,00 m: Manto alteración gneis GA IV	3,30 (fin sondeo)
S-12 ¹⁰	8,00	00,00 m - 00,25 m: Solera+Zahorra 00,25 m - 03,00 m: Relleno antrópico 03,00 m - 05,25 m: Fango de origen mareal 05,25 m - 06,80 m: Manto alteración gneis GA IV 06,80 m - 08,00 m: Gneis GA III	3,70
S-13	16,00	00,00 m - 01,55 m: Relleno antrópico 01,55 m - 14,50 m: Fango de origen mareal 14,50 m - 16,00 m: Gneis GA III	0,90
S-14	12,00	00,00 m - 01,70 m: Relleno antrópico 01,70 m - 08,80 m: Fango de origen mareal 08,80 m - 12,00 m: Manto alteración gneis GA V	0,95
S-15	10,91	00,00 m - 03,00 m: Relleno antrópico 03,00 m - 04,75 m: Fango de origen mareal 04,75 m - 05,90 m: Arenas de origen mareal 05,90 m - 09,60 m: Manto alteración esquisto GA V 09,60 m - 10,91 m: Manto alteración esquisto GA IV	0,40
S-16	9,00	00,00 m - 00,05 m: Solera 00,05 m - 06,65 m: Relleno antrópico 06,65 m - 09,00 m: Manto alteración gneis GA V	2,70

¹⁰ Se han percibido anomalías en la coloración del agua, de tonos rojizos y ocres, que podrían ser debidas a oxidación o contaminación

S-17	17,50	00,00 m - 02,10 m: Relleno antrópico 02,10 m - 15,70 m: Fango de origen mareal 15,70 m - 16,30 m: Gravas arenosas de origen mareal 16,30 m - 17,50 m: Manto alteración gneis GA IV	2,85
S-18	18,10	00,00 m - 02,50 m: Relleno antrópico 02,50 m - 15,50 m: Fango de origen mareal 15,50 m - 16,50 m: Gravas arenosas de origen mareal 16,50 m - 18,10 m: Manto alteración gneis GA IV	2,65

En el siguiente cuadro se resumen los valores máximo y mínimo del nivel freático registrados en estos sondeos y en los utilizados para el ensayo de bombeo y recuperación durante los meses de noviembre y diciembre del 2009 y enero, febrero y marzo del 2010.¹¹

Sondeo	Nivel más alto	Fecha lectura	Nivel más bajo	Fecha lectura	Diferencia de cota (m)
S-1	3,70 m	17/11/09	4,72 m	11/11/09	1,02
S-2	1,00 m	15/01/10	1,80 m	18/11/09	0,80
S-3	1,59 m	04/03/10	2,15 m	-.-	0,56
S-4	1,00 m	15/01/10	2,05 m	19/11/09	1,05
S-5	4,30 m	24/11/09	-.-	-.-	-.-
S-6	4,00 m	30/11/09	-.-	-.-	-.-
S-7	3,90 m	02/12/09	-.-	-.-	-.-
S-8	2,85 m	10/12/09	-.-	-.-	-.-
S-9	3,30 m	10/12/09	-.-	-.-	-.-
S-10	3,70 m	11/12/09	-.-	-.-	-.-
S-11	3,30 m	15/12/09	3,40 m	16/12/09	0,10
S-12	3,37 m	18/02/10	3,70 m	19/01/10	0,33
S-13	0,90 m	15/01/10	1,00 m	17/02/10	0,10
S-14	0,95 m	15/01/10	1,25 m	18/02/10	0,30
S-15	0,40 m	15/01/10	-.-	-.-	-.-
S-16	2,70 m	15/01/10	-.-	-.-	-.-
S-17	2,75 m	11/03/10	2,85 m	15/01/10	0,10
S-18	2,28 m	11/03/10	2,65 m	16/01/10	0,37
S-19	3,20 m	11/03/10	3,87 m	16/03/10	0,67
S-20	2,86 m	11/03/10	3,11 m	16/03/10	0,25

Nota: donde no se indica el dato significa que no ha habido una segunda lectura

La diferencia de cotas del Anllóns (y de los ríos Pelamio y Rego de los Prados, que también están sujetos a estas variaciones periódicas) atribuible al régimen mareal y al sistema regulador de compuertas es de aproximadamente 1,5 m. Por lo tanto, cuanto más cerca esté

¹¹ El Informe completo puede consultarse en el anexo de documentación.

de esta cantidad la diferencia de cotas registrada en un sondeo, más susceptible al régimen mareal será el nivel freático en esa zona.

Como vemos, los sondeos S-1 y S-4, seguidos por los S-2, S-19 y S-3 son los que más acusan el régimen mareal, debido a su proximidad a los ríos.

Para el resto de los sondeos las diferencias entre cotas son mínimas, reflejando la escasa influencia sobre estos. Descartada la influencia mareal, el descenso del nivel freático debe ser atribuido a otras causas.

En un primer momento se estudió la posibilidad de la existencia de un tercer río que, afluente del Pelamio en la zona de la EDAR, discurriese paralelo a éste y pasase por debajo de la avenida Eduardo Pondal hacia el Anllóns, y que en estos momentos viese interrumpido su recorrido natural a causa de las obras de travesía Relleno, río que algunos vecinos aún recuerdan que pasaba por debajo de la avenida. Sin embargo en estos momentos carece de entidad y su escaso caudal, existente sólo en épocas de crecida mareal o lluvias, vierte en el Pelamio sin ejercer ningún tipo de influencia.



Se indica la zona del cauce del "afluente" del Pelamio.



Detrás del muro de bloque, en la avenida Eduardo Pondal 7, se encuentra el solar por el que discurre el “afluente” del Pelamio.

PLUVIOMETRÍA

Otro de los factores que desde un primer momento interesó conocer fue la pluviometría de la zona en el período de excavación de los sótanos de la parcela de la travesía Relleno.

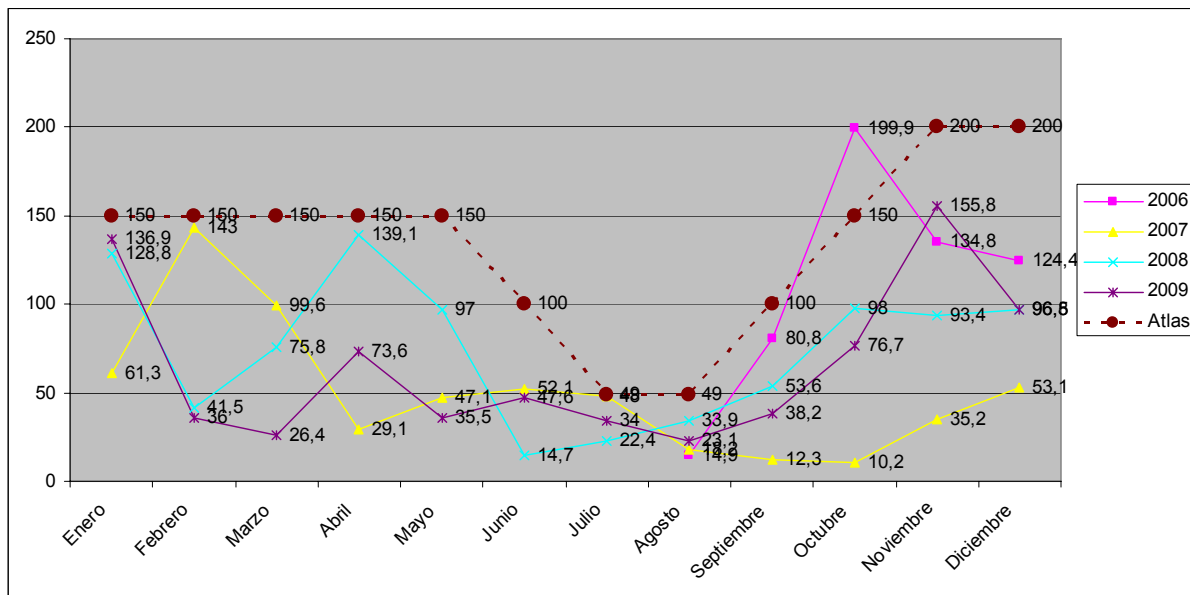
Se trataba de averiguar si el régimen pluvial podría haber influido en la cota del nivel freático, bien aumentándola en caso de grandes precipitaciones (o pequeñas por tiempos prolongados) que alimentan el acuífero; o bien reduciéndolo con una baja pluviometría o época seca.

Los datos proporcionados por Meteogalicia para los años 2006, 2007, 2008 y 2009¹² fueron comparados con los valores estadísticos del Atlas Climático de Galicia. Hemos resaltado en rojo los meses y destacado el año a partir del cual comenzaron los trabajos de excavación en la parcela propiedad del Grupo Elyte:

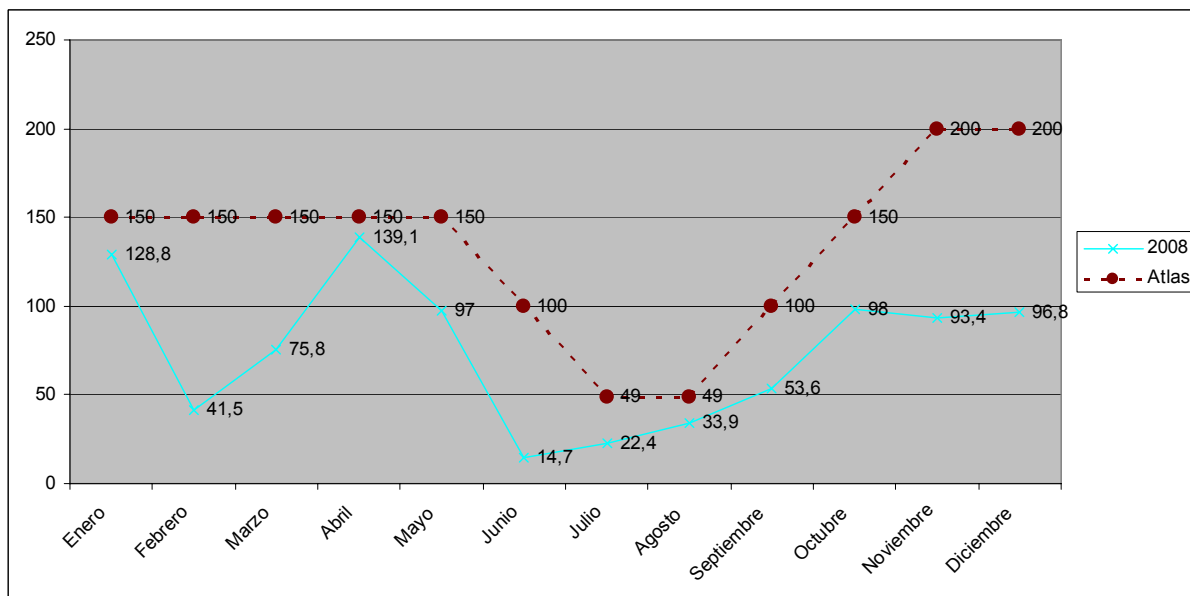
	2006	2007	2008	2009	Atlas de Galicia
Enero	Sin datos	61,3	128,8	136,9	150
Febrero	Sin datos	143	41,5	36	150
Marzo	Sin datos	99,6	75,8	26,4	150
Abril	Sin datos	29,1	139,1	73,6	150
Mayo	Sin datos	47,1	97	35,5	150
Junio	Sin datos	52,1	14,7	47,6	100
Julio	Sin datos	48	22,4	34	49
Agosto	14,9	18,2	33,9	23,1	49
Septiembre	80,8	12,3	53,6	38,2	100
Octubre	199,9	10,2	98	76,7	150
Noviembre	134,8	35,2	93,4	155,8	200
Diciembre	124,4	53,1	96,8	96,5	200

Precipitaciones en l/m². Los valores del Atlas son los máximos para ese mes y año.

¹² Se tomaron los datos de la estación Malpica.



Fuente: Meteogalicia. Elaboración propia.



Fuente: Meteogalicia. Elaboración propia.

Como puede verse en el gráfico de arriba, los valores del 2008 están siempre por debajo de los valores máximos del Atlas. En general todos los años analizados, salvo octubre del 2006, tienen sus valores por debajo (cuadro superior).

Tampoco el 2007 fue un año con excesivas precipitaciones, por lo que podría concluirse que el nivel freático de 1,05 m, medido en abril de ese año, no estaría afectado entonces por una recarga del acuífero, por lo que podemos asumir que ha permanecido constante o con ligeras variaciones hasta la fecha de la excavación de la parcela del Grupo Elyte, en noviembre del 2008. Por ello, se descarta la pluviometría como causante de una diferencia acusada de los niveles freáticos.



En el anexo de documentación se han representado de forma conjunta la pluviometría, el régimen mareal y los niveles freáticos de los sondeos S-1 al S-18 en los meses de noviembre y diciembre del 2009 y enero del 2010. A simple vista puede apreciarse que el sondeo más sensible a estas variaciones es el S-1, por su proximidad al río Pelamio y la influencia mareal que éste le transmite. El resto no presentan grandes variaciones.

ENSAYOS DE BOMBEO Y DE RECUPERACIÓN.

La escasa compacidad de los fangos mareales imposibilitó la ejecución de ensayos de permeabilidad tipo *Lefranc*, tal y como estaba previsto en un principio¹³, dada la imposibilidad de mantener estables las paredes de al menos un tramo de la perforación sin la ayuda de tubería de revestimiento.

A la vista de este inconveniente, se estimó oportuno obtener el rango de permeabilidad del terreno a partir de estos ensayos, adaptados a las características de los sondeos geotécnicos de investigación que se llevaron a cabo.

Dada la sensibilidad comprobada en una primera prueba del nivel freático a los bombeos, se desechó la idea de utilizar una bomba de gran caudal por temor a provocar nuevos asentamientos. En su lugar se optó por una bomba tipo “lápiz” que podría ser introducida en el tubo del sondeo. Esto possibilitó, además, la ventaja añadida de poder utilizarla en cualquier sondeo y obtener lecturas en distintos lugares y situaciones.

La bomba utilizada contaba con las siguientes características:

- Profundidad: 21 m
- Alimentación: 12V
- Caudal: 0,16 l/s (9,6 l/min.)
- Longitud: 495 mm
- Diámetro: 38,1 mm



Detalle de la bomba tipo “lápiz” utilizada en los ensayos

El caudal real ha sido medido mediante un caudalímetro acoplado a la manguera de salida de la bomba. El agua extraída del bombeo fue evacuada a través de la red de pluviales con la ayuda de una manguera, para impedir que una posible infiltración en el terreno distorsionara el resultado de los ensayos.

La metodología de la realización de un ensayo de bombeo es simple. Consiste en bombear en un pozo, a caudal constante o a caudal variable, y seguir la evolución del nivel del agua,

¹³ El ensayo *Lefranc* se utiliza para medir el coeficiente de permeabilidad en suelos permeables y semipermeables durante la ejecución de la perforación de sondeos

tanto en el mismo pozo de bombeo como en otros pozos o sondeos cercanos. El ensayo de bombeo consiste en el estudio de las variaciones de los niveles, que es lo que permite obtener información tanto sobre el pozo/sondeo como sobre las características y circunstancias del acuífero (transmisividad, coeficiente de almacenamiento, grado de comunicación entre la zona acuífera inmediata al sondeo y otras más lejanas, existencia de barreras y bordes impermeables cercanos, zonas de recarga, etc.

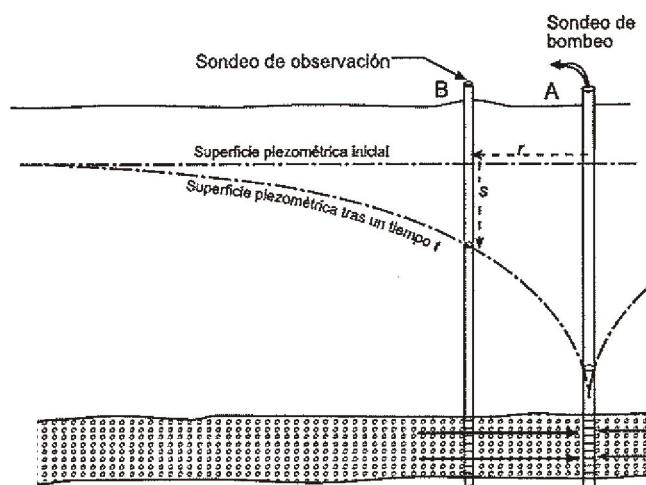
Debe tenerse en cuenta que los ensayos de permeabilidad son de carácter puntual y, puesto que la naturaleza de los materiales del subsuelo y del propio acuífero es heterogénea y anisótropa, no es recomendable interpretar los resultados de los ensayos de permeabilidad como un valor exacto y representativo de las condiciones del acuífero, sino más bien como un indicador del orden de magnitud de los parámetros buscados.

Los valores de los parámetros serán más fiables cuantos más ensayos se realicen y mejor quede representado el acuífero, para lo que sería interesante también disponer de ensayos de bombeo específicos, en régimen permanente.

METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS

El principio del ensayo se basa en la depresión que se produce al bombear un pozo, tanto en el mismo sondeo como en toda la porción de acuífero circundante. El descenso de nivel es más pronunciado en el pozo y aminora a medida que aumenta la distancia al mismo. El nivel freático antes de iniciar el bombeo es el llamado nivel estático.

La distancia existente entre el pozo de bombeo y la zona del acuífero en la que la influencia puede considerarse nula, es el llamado radio de influencia. Se forma en torno al sondeo un gran cono de bombeo cuya superficie es la superficie piezométrica dinámica, y el valor del nivel de agua en un punto de dicha superficie es el llamado nivel dinámico.



Esquema de ensayo de bombeo

El tipo de acuífero investigado se puede denominar como acuífero libre en medio poroso.

Los ensayos realizados se pueden considerar como ensayos de bombeo a caudal constante de régimen variable, es decir, los realizados mientras los niveles se encuentran en variación con el tiempo. Para realizar un ensayo en régimen permanente se necesita alcanzar la estabilización del nivel freático en el bombeo, por lo que son ensayos de larga duración.

Dentro de los ensayos de bombeo en régimen variable se suelen utilizar dos tipos de pruebas:

- Prueba en bombeo: Como consecuencia de un bombeo a caudal constante, los niveles descenderán durante un cierto tiempo, de manera que se interpretan los resultados de la variación de niveles en función del tiempo de bombeo.
- Prueba en recuperación: Cuando se detiene el bombeo, los niveles comienzan a ascender tratando de alcanzar la cota inicial en reposo, de manera que se interpreta la evolución de estos niveles después de la detención.

Desde el punto de vista práctico, en ambos se mide la profundidad del nivel de agua en el punto de bombeo antes de empezar el ensayo y, en el caso de la prueba de bombeo, también en el punto de observación.

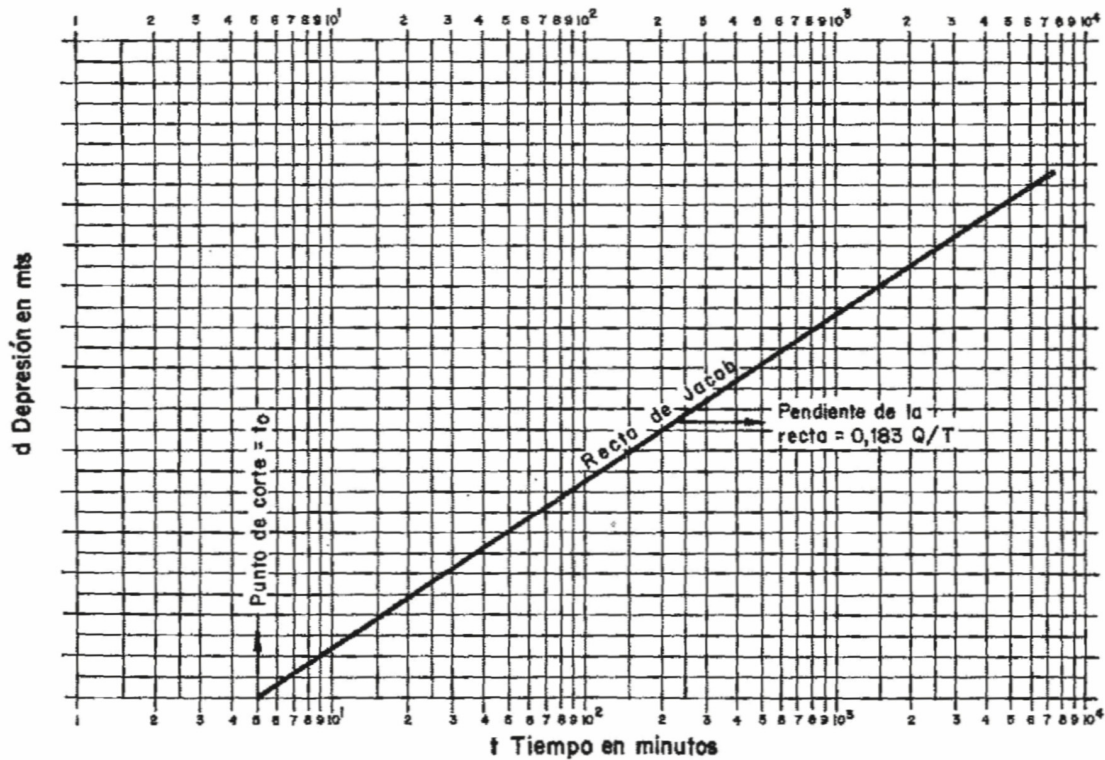
ENSAYOS DE BOMBEO

Como se ha comentado anteriormente, en primer lugar se miden los niveles iniciales tanto en el pozo de bombeo como en el piezómetro de observación. Una vez iniciado el bombeo se mide la evolución de los niveles con el tiempo en el piezómetro de observación, de manera que la cadencia de las medidas con el tiempo se reparta lo más uniformemente posible en una escala logarítmica, por lo que las medidas serán muy seguidas al principio para ir espaciándose cada vez más conforme avanza el ensayo.

Una vez finalizado el bombeo, se medirá en el pozo el ascenso de los niveles con una cadencia análoga a la realizada en el descenso, para efectuar el ensayo de recuperación, tal y como se describirá en el apartado correspondiente.

Para la interpretación del ensayo se creyó conveniente la utilización del Método de Jacob, dado que su metodología y formulación son especialmente útiles en el caso de los ensayos de bombeo en régimen variable, como es el caso.

El Método de Jacob se encuentra ampliamente descrito en la literatura al respecto, y consiste en una simplificación de la fórmula de Theis, que en la práctica se admite para casi todos los casos. El Método de Jacob consiste en una representación en papel semilogarítmico, situando en ordenadas la depresión medida en metros desde el principio del ensayo, y en abscisas (escala logarítmica) los tiempos en minutos desde el inicio de la prueba.



Recta de Jacob

Los puntos proyectados se ajustan a una recta, a partir de un cierto tiempo t' . El tramo inicial es el período en que la simplificación de Jacob no es válida, por tanto se desprecia. La pendiente de la recta de Jacob es función del caudal de bombeo y de la transmisividad del acuífero. De igual manera, a partir del punto de corte de la recta en el eje de abscisas se obtiene el valor t_0 , a partir del cual se puede obtener el coeficiente de almacenamiento.

En acuíferos libres se acostumbra a corregir los descensos observados mediante la llamada corrección de Dupuit. Sin embargo, esta corrección no es necesaria cuando los descensos son inferiores al 15% del espesor saturado del acuífero, como es el caso.

➤ **BOMBEO EN S-17**

Fecha de ensayo: 17/02/10

Datos iniciales:

Nivel inicial POZO DE BOMBEO S-17	-2,97 m
Nivel inicial POZO DE REGISTRO S-18	-2,28 m
Lectura inicial CAUDALÍMETRO	395,37 m ³
Distancia entre pozos	5 m

INTERPRETACIÓN DEL ENSAYO

Transmisividad (T) y Coeficiente de almacenamiento (S):

Δd (m)	0,4
Q (m ³ /día)	10,29767442
T (m²/día)	4,711186047
t_0 (min.)	1,9
t_0 (días)	0,001319444
r (m)	5
S	0,000559

Radio de influencia (R) en metros en función de un tiempo de bombeo estimado de 30 días:

t (días)	30
R (m)	1.130,91

Radio de influencia (R) en metros en función de un tiempo de bombeo estimado de 5 días:

t (días)	5
R (m)	461,69

COMENTARIOS

La recta se ha ajustado manualmente en papel semilogarítmico, presentando un buen ajuste una vez despreciados los instantes iniciales, que corresponden al período en que este método no es válido.

El valor del coeficiente de almacenamiento es muy bajo, más propio de un acuífero confinado o semi confinado que de acuíferos libres, lo que hace que el radio de influencia sea muy grande. En cualquier caso, y para el valor de transmisividad obtenido, haciendo un cálculo a partir de un valor de coeficiente de almacenamiento más propio de acuíferos libres de medio poroso (del orden de 0,05) **el radio de influencia para un bombeo de 30 días sería de al menos un centenar de metros y de cincuenta metros para 5 días de bombeo.**

➤ **BOMBEO EN S-18**

Fecha de ensayo: 11/03/10

Datos iniciales:

Nivel inicial POZO DE BOMBEO S-18	-2,78 m
Nivel inicial POZO DE REGISTRO S-17	-3,00 m
Lectura inicial CAUDALÍMETRO	396,37 m ³
Distancia entre pozos	5 m

INTERPRETACIÓN DEL ENSAYO

Transmisividad (T) y Coeficiente de almacenamiento (S)

Δd (m)	0,47
Q (m ³ /día)	6,24
T (m²/día)	2,429617021

t_0 (min.)	2,1
t_0 (días)	0,001458333
r (m)	5
S	0,000318887

Radio de influencia (R) en metros en función de un tiempo de bombeo estimado de 30 días:

t (días)	30
R (m)	1.075,71

Radio de influencia (R) en metros en función de un tiempo de bombeo estimado de 5 días:

T (días)	5
R (m)	439,16

COMENTARIOS

Se han utilizado los mismos sondeos que en el ensayo anterior pero invirtiendo su uso, de manera que el sentido de circulación del flujo de agua respecto al ensayo anterior es opuesto. El ensayo se realizó varias semanas después del ensayo de bombeo en el S-17, por lo que no se encuentra influido por éste.

Al igual que en el caso anterior, la recta se ha ajustado manualmente en papel semilogarítmico, presentando un buen ajuste una vez despreciados los instantes iniciales que corresponden al período en que el método no es válido.

Tanto el ajuste de la recta como los rangos de los valores de transmisividad y de coeficiente de almacenamiento son del mismo orden que en el bombeo en S-17, como cabía esperar ya que se trata del mismo entorno. Esto demuestra que, en términos generales y al menos en este entorno, el acuífero se comporta de manera bastante anisótropa en cuanto a sus parámetros hidrogeológicos.

Por tanto, volvemos a obtener un valor muy bajo del coeficiente de almacenamiento, más propio de un acuífero confinado o semi confinado que de acuíferos libres, lo que hace que el radio de influencia sea muy grande. En cualquier caso y para el valor de transmisividad obtenido, haciendo un cálculo a partir de un valor de coeficiente de almacenamiento más propio de acuíferos libres de medio poroso (del orden de 0,05) **el radio de influencia para un bombeo de 30 días y 5 días sería de al menos unos 85 m y 35 m respectivamente.**

➤ BOMBEO EN S-19

Fecha de ensayo: 16/03/10

Datos iniciales:

Nivel inicial POZO DE BOMBEO S-19	-4,05 m
Nivel inicial POZO DE REGISTRO S-20	-3,58 m
Lectura inicial CAUDALÍMETRO	396,495 m ³
Distancia entre pozos	4,5 m

INTERPRETACIÓN DEL ENSAYO

Transmisividad (T) y Coeficiente de almacenamiento (S)

Δd (m)	0,17
Q (m ³ /día)	10,61485714
T (m²/día)	11,42658151
t_0 (min.)	9
t_0 (días)	0,00625
r (m)	4,5
S	0,007935126

Radio de influencia (R) en metros en función de un tiempo de bombeo estimado de 30 días:

t (días)	30
R (m)	467,65

Radio de influencia (R) en metros función de un tiempo de bombeo estimado de 5 días:

t (días)	5
R (m)	190,92

COMENTARIOS

Una vez más la recta se ha ajustado manualmente en papel semilogarítmico. Sin embargo, en este caso se presentan dos tendencias diferenciadas, la inicial y la final, ambas ajustadas a sendas rectas.

Se ha decidido trabajar con la final, puesto que la primera parte de la recta podría quedar más cerca del límite del período de validez de Jacob, y además la parte final proporciona parámetros más conservadores.

En este caso los valores tanto de la transmisividad como del coeficiente de almacenamiento del acuífero son sensiblemente más altos que en los ensayos anteriores, si bien este último sigue siendo demasiado bajo para un acuífero libre. El radio de influencia de un supuesto bombeo sigue siendo considerable, incluso en el caso de minorar el coeficiente de almacenamiento **el radio de influencia sería de alrededor de 190 metros para un bombeo de 30 días y de casi 80 metros para uno de 5 días.**

ENSAYOS DE RECUPERACIÓN

Los métodos de recuperación tras un bombeo consisten en efectuar las interpretaciones del ensayo en base a los datos que se obtienen una vez que el pozo o sondeo detiene su extracción de agua. A partir de ese momento, los niveles empiezan a subir hasta recuperar total o parcialmente el nivel inicial. Estos métodos se basan en el análisis de la recuperación o evolución del ascenso de niveles posterior a la interrupción del ensayo.

La ventaja principal de estos ensayos consiste en que se puede utilizar prácticamente cualquier sondeo mediante una bomba lápiz como la utilizada en los ensayos de bombeo, y analizar posteriormente la evolución de los niveles tras la detención.

Para el análisis de la evolución se utiliza la relación de Jacob, que es válida prácticamente siempre en el pozo de bombeo.

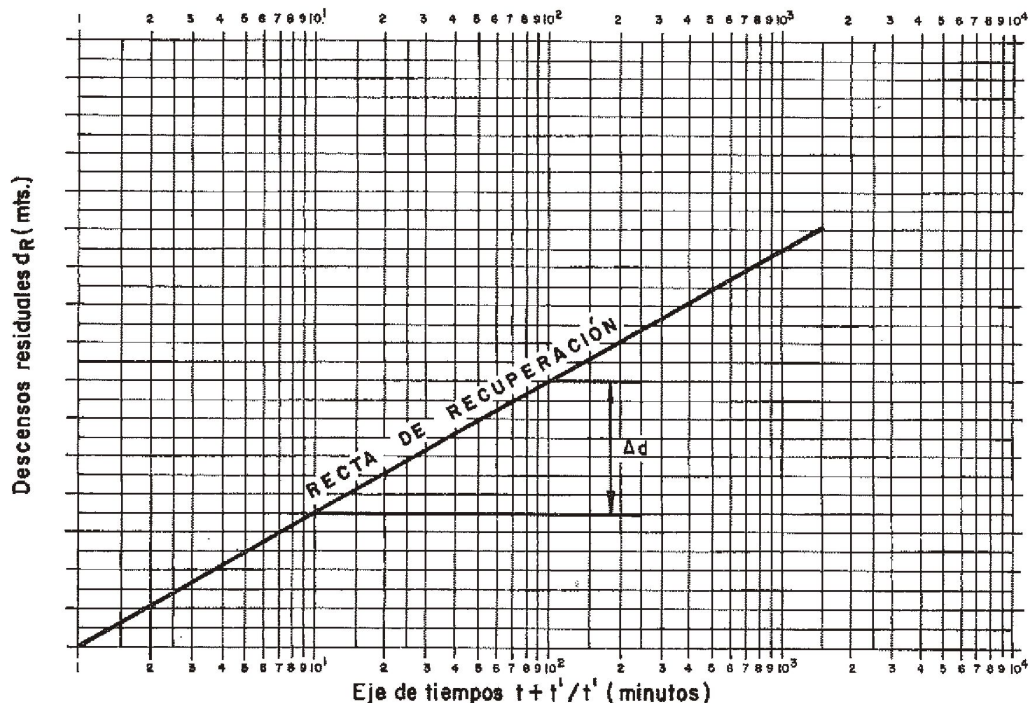
El descenso que se observa en el pozo se denomina descenso residual y constituye la diferencia entre los niveles estático y dinámico. La recta de Jacob para los ensayos de recuperación situando en ordenadas los valores de descenso residual medidos en metros, y en abscisas (escala logarítmica) los tiempos en minutos. En este caso el tiempo que se usa es:

$$\frac{t+t'}{t'}$$

Siendo

- t : tiempo de duración del bombeo
- t' : tiempo transcurrido desde el cese del bombeo.

Debe señalarse que cuando $t' = 0$ el resultado es una indeterminación, por lo que en la representación gráfica se ha realizado una iteración sencilla para hallar un valor de $t'_0 > 0$ que se ajuste a la tendencia de la recta de Jacob. El resultado de los valores de transmisividad y permeabilidad que se ofrece están calculados con el valor de t'_0 que permite un mejor ajuste de la recta.



Recta de Jacob para ensayos de recuperación

Los ensayos de recuperación, que a simple vista sólo puede proporcionar el parámetro T, presentan otras ventajas, como no ser demasiado sensibles a las variaciones del caudal de bombeo.

El punto donde la recta ajustada corta a los ejes también tiene un valor significativo. El valor de la transmisividad se ajustará más a la realidad cuanto más se acerque al origen el punto de corte de las rectas con los ejes. También el desplazamiento de la recta respecto a este origen, en el caso de que se produzca, tiene un significado.

- Cuando la recta corta el eje de ordenadas, indica que los niveles no se han recuperado al transcurrir un tiempo suficientemente largo desde que se detuvo el bombeo, lo que es síntoma de que el acuífero se ha vaciado, por lo que no puede asimilarse a un acuífero infinito a efectos prácticos.
- Cuando la recta corta el eje de abscisas, implica que el pozo ha recuperado su nivel en un tiempo menor del teórico necesario, para lo cual debería existir una recarga de agua exterior al sistema pozo-acuífero (recargas por goteo vertical, laterales, infiltración desde cauces...)

➤ **ENSAYO DE RECUPERACIÓN EN S-3**

Fecha de ensayo: 4/03/10

Datos iniciales:

Nivel inicial POZO DE BOMBEO S-3	-1,69 m
Caudal de bombeo:	10 m ³ /día
Tiempo de bombeo (t):	10 minutos
Espesor del acuífero:	12 m

COMENTARIOS

La recta presenta un buen ajuste.

Se obtienen los siguientes datos de la muestra:

- Transmisividad (T) 1,00 m²/día
- Permeabilidad (K) 0,082 m/día

➤ **ENSAYO DE RECUPERACIÓN EN S-4**

Fecha de ensayo: 4/03/10

Nivel freático inicial: -1,03 m

COMENTARIOS

Se ha realizado un bombeo a caudal constante durante 20 minutos sin conseguir deprimir el nivel. Este hecho parece debido a que el NF se encuentra muy superficial, a una cota donde los materiales en los que se encuentra el NF son rellenos antrópicos granulares gruesos, prácticamente una escollera, que conforman una porosidad interconectada de gran capacidad. Por tanto, la transmisividad de estos materiales superficiales es al menos equivalente al caudal de bombeo. Hay que añadir además, que el sondeo se encuentra relativamente cercano a un cauce cuyo nivel coincide aproximadamente con el nivel freático, por lo que la recarga podría ser permanente.

➤ **ENSAYO DE RECUPERACIÓN EN S-12**

Fecha de ensayo: 16/03/10

Datos iniciales:

Nivel inicial POZO DE BOMBEO S-12	-3,54 m
Caudal de bombeo:	9,68 m ³ /día
Lectura inicial CAUDALÍMETRO	396,753 m ³
Tiempo de bombeo (t):	29 minutos
Espesor del acuífero:	12 m

COMENTARIOS

Se obtienen los siguientes datos de la muestra:

- Transmisividad (T) 12,08 m²/día
- Permeabilidad (K) 1,00 m/día

La recta presenta un buen ajuste, sin embargo presenta la anomalía de no pasar por el eje de coordenadas, en lo que se interpreta como un efecto de vaciado del pozo. En este mismo sondeo se han percibido anomalías en la coloración del agua, de tonos rojizos y ocre, que podrían ser debidos a oxidación o contaminación.

Los resultados de los parámetros, por tanto, deberán ser utilizados con ciertas reservas.

➤ **ENSAYO DE RECUPERACIÓN EN S-13**

Fecha de ensayo: 17/02/10

Datos iniciales:

Nivel inicial POZO DE BOMBEO S-13	-1,00 m
Caudal de bombeo:	8,81 m ³ /día
Lectura inicial CAUDALÍMETRO	395,749 m ³
Tiempo de bombeo (t):	65 minutos
Espesor del acuífero:	12 m

COMENTARIOS

Se obtienen los siguientes datos de la muestra:

- Transmisividad (T) 1,20 m²/día
- Permeabilidad (K) 0,10 m/día

La recta presenta un ajuste aceptable, aunque presenta un cierto efecto de recarga, que podría ser achacable a un aguacero breve, aunque intenso, ocurrido durante la realización del ensayo.

➤ **ENSAYO DE RECUPERACIÓN EN S-17**

Fecha de ensayo: 17/02/10

Datos iniciales:

Nivel inicial POZO DE BOMBEO S-17	-2,97 m
Caudal de bombeo:	10,30 m ³ /día
Lectura inicial CAUDALÍMETRO	395,367 m ³
Tiempo de bombeo (t):	26 minutos
Espesor del acuífero:	12 m

COMENTARIOS

Se obtienen los siguientes datos de la muestra:

- Transmisividad (T) 2,50 m²/día
- Permeabilidad (K) 0,20 m/día

La recta presenta un ajuste aceptable.

➤ **ENSAYO DE RECUPERACIÓN EN S-18 (1 de 2)**

Fecha de ensayo: 17/02/10

Datos iniciales:

Nivel inicial POZO DE BOMBEO S-18	-2,31 m
Caudal de bombeo:	8,15 m ³ /día
Lectura inicial CAUDALÍMETRO	395,552 m ³
Tiempo de bombeo (t):	35 minutos
Espesor del acuífero:	12 m

COMENTARIOS

Se obtienen los siguientes datos de la muestra:

- Transmisividad (T) 1,50 m²/día
- Permeabilidad (K) 0,12 m/día

La recta presenta un ajuste aceptable, con un ligero efecto de vaciado.

➤ **ENSAYO DE RECUPERACIÓN EN S-18 (2 de 2)**

Fecha de ensayo: 11/03/10

Datos iniciales:

Nivel inicial POZO DE BOMBEO S-18	-2,78 m
Caudal de bombeo:	6,24 m ³ /día
Lectura inicial CAUDALÍMETRO	395,373 m ³
Tiempo de bombeo (t):	15 minutos
Espesor del acuífero:	12 m

COMENTARIOS

Se obtienen los siguientes datos de la muestra:

- Transmisividad (T) 0,55 m²/día
- Permeabilidad (K) 0,046 m/día

Si bien la recta no tiene un ajuste perfecto, puede considerarse válida. Presenta un ligero efecto de vaciado en el tramo final.

➤ **ENSAYO DE RECUPERACIÓN EN S-19 (1 de 2)**

Fecha de ensayo: 11/03/10

Datos iniciales:

Nivel inicial POZO DE BOMBEO S-19	-3,38 m
Caudal de bombeo:	8,96 m ³ /día
Lectura inicial CAUDALÍMETRO	395,901 m ³
Tiempo de bombeo (t):	45 minutos
Espesor del acuífero:	12 m

COMENTARIOS

Se obtienen los siguientes datos de la muestra:

- Transmisividad (T) 2,80 m²/día
- Permeabilidad (K) 0,23 m/día

La recta tiene buen ajuste, aunque presenta un efecto de recarga, posiblemente se encuentre influida por el cauce cercano.

➤ **ENSAYO DE RECUPERACIÓN EN S-19 (2 de 2)**

Fecha de ensayo: 16/03/10

Datos iniciales:

Nivel inicial POZO DE BOMBEO S-19	-4,05 m
Caudal de bombeo:	10,61 m ³ /día
Lectura inicial CAUDALÍMETRO	395,495 m ³
Tiempo de bombeo (t):	35 minutos
Espesor del acuífero:	12 m

COMENTARIOS

Se obtienen los siguientes datos de la muestra:

- Transmisividad (T) 44 m²/día
- Permeabilidad (K) 3,66 m/día

La recta tiene dos tendencias. En la primera parte, hasta el minuto 6, ajusta mal al origen y presenta efecto de vaciado. La segunda parte ajusta mejor. Calculando la transmisividad con la primera parte de la recta se obtiene un valor del orden de la mitad (22 m²/día). Dadas las circunstancias, no se aconseja utilizar los resultados de este ensayo.

➤ **ENSAYO DE RECUPERACIÓN EN S-20**

Fecha de ensayo: 11/03/10

Datos iniciales:

Nivel inicial POZO DE BOMBEO S-20	-3,18 m
Caudal de bombeo:	9,17 m ³ /día
Lectura inicial CAUDALÍMETRO	396,182 m ³
Tiempo de bombeo (t):	30 minutos
Espesor del acuífero:	12 m

COMENTARIOS

Se obtienen los siguientes datos de la muestra:

- Transmisividad (T) 3,46 m²/día
- Permeabilidad (K) 0,29 m/día

La recta presenta un ajuste moderado, con un ligero efecto de vaciado.

ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

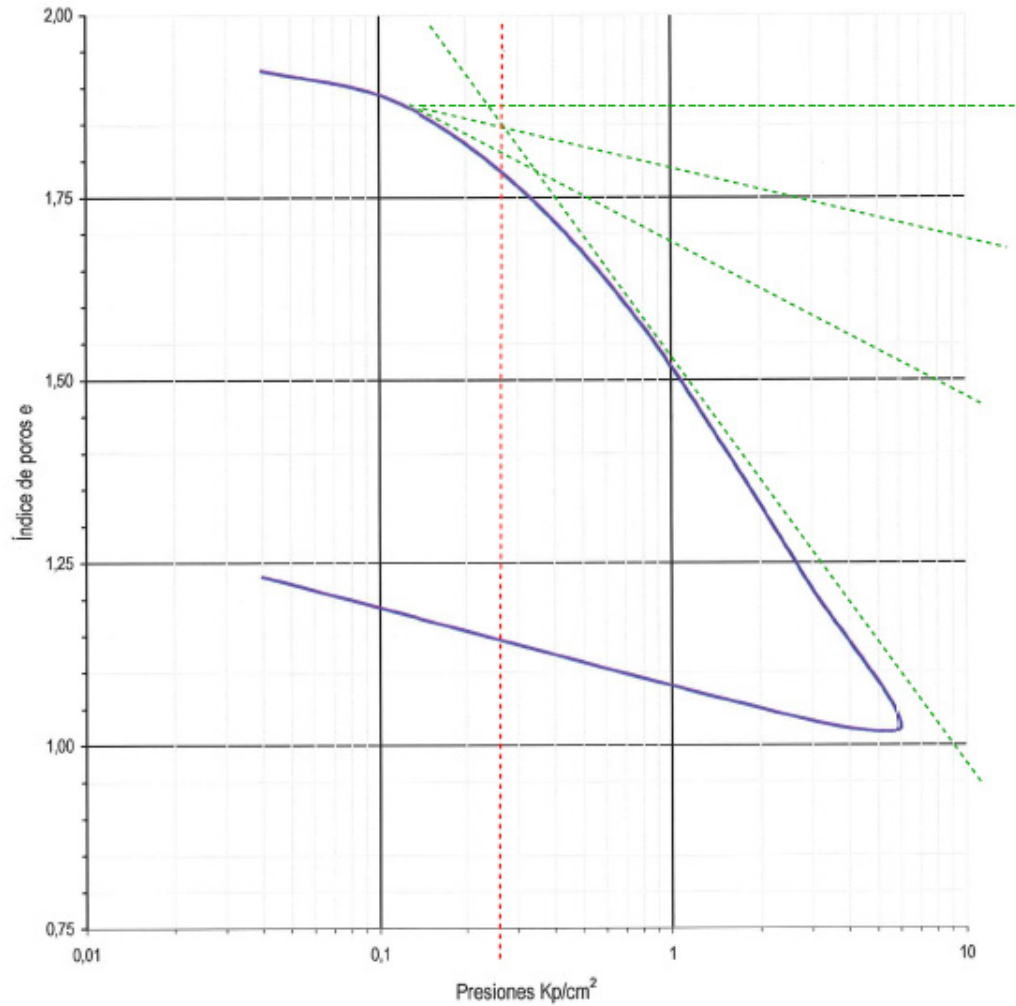
El depósito fangoso tiene un espesor medio de 15 m y está constituido por varias capas fundamentalmente arcillosas, limosas y arenosas finas¹⁴, a partir de un horizonte basal grueso integrado por cantos, gravas y arena gruesa. Por otro lado, el depósito mareal se caracteriza por una compacidad floja-muy floja y por estar saturado casi en su totalidad. La presencia de materia orgánica, el contenido en finos y su saturación podrían ser las principales causas que condicionan su proceso de consolidación que, como queda de manifiesto en los ensayos edométricos realizados, aún está lejos de finalizar.

Sobre dos muestras inalteradas procedentes de los sondeos S-1 y S-5 se realizaron ensayos de consolidación. En ambos casos se trataba de fangos de origen mareal.

La finalidad de estos ensayos es, por un lado, determinar mediante la curva edométrica la presión de preconsolidación a partir de qué presión máxima el terreno comienza a acusar asientos importantes y, por otro, obtener el coeficiente de consolidación C_v para determinar el tiempo restante para que finalice el proceso de consolidación.

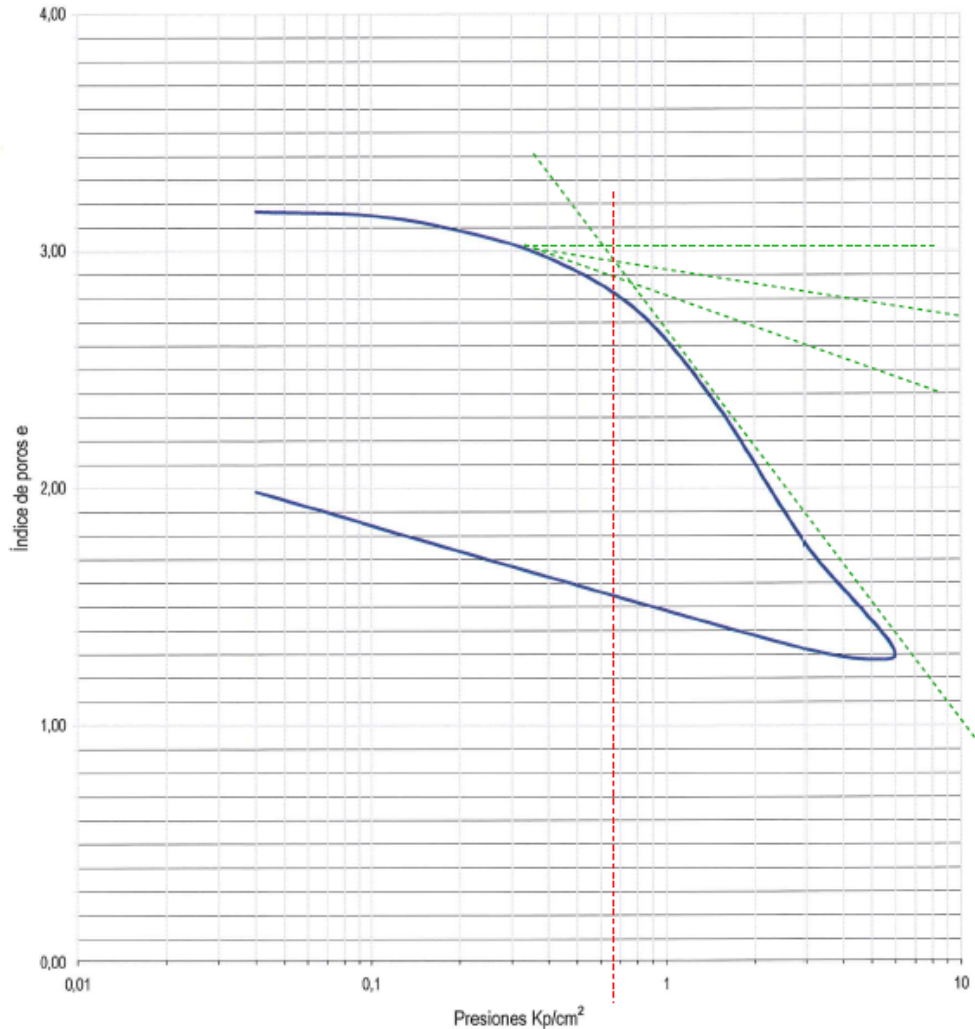
¹⁴ Clasificación de Casagrande: MH y SM. Ver página 21

CURVA EDMÉTRICA



Curva edométrica para la muestra procedente de S-1 con la tensión de preconsolidación hallada (donde la línea roja cruza el eje de las abscisas, según método de Casagrande)

CURVA EDOMÉTRICA



Curva edométrica para la muestra procedente de S-5 con la tensión de preconsolidación hallada (donde la línea roja cruza el eje de las abscisas, según método de Casagrande)

Como vemos en los gráficos anteriores, para la muestra procedente del S-1 se obtuvo una presión de preconsolidación¹⁵ de 0,25 k/cm² y para la del S-5 de aproximadamente 0,7 k/cm²

Los resultados obtenidos en estos ensayos explicarían por qué las edificaciones añadidas de la avenida Eduardo Pondal no habían experimentado asientos hasta ahora. Una edificación de una o dos plantas, con la tipología constructiva de los añadidos, transmite al terreno una tensión de menos de 0,20 k/cm², inferior a las tensiones de preconsolidación halladas.

¹⁵ Según método de Casagrande

También podemos hallar el tiempo de consolidación total. Utilizando las curvas isocronas¹⁶ se halla el factor de tiempo T_v y partiendo de un porcentaje de consolidación preseleccionado, por ejemplo del 80%, y el C_v obtenido del ensayo aplicados a la fórmula de consolidación tenemos:

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2} \quad \text{despejando,} \quad t = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v}$$

Donde H el espesor del manto permeable¹⁷ y t el tiempo de consolidación que se desea determinar.

Se obtienen para los distintos escalones de carga del ensayo los siguientes valores de tiempo (t):

Se adopta para ambas muestras:

- $T_v = 0,65$
- $U (\%) = 80$
- $H = 14 \text{ m}$

Se han seleccionado los tres primeros escalones de carga por ser los más representativos de las tensiones que una edificación puede transmitir al terreno.

Resultados para S-5:

Escalón de carga	C_v	tiempo
0,1 - 0,2	15,33	26,35 años
0,2 - 0,4	15,74	25,67 años
0,4 - 0,8	16,30	24,78 años

Resultados para S-1:

Escalón de carga	C_v	tiempo
0,1 - 0,2	22,61	17,87 años
0,2 - 0,4	20,58	19,63 años
0,4 - 0,8	13,2	30,60 años

¹⁶ Según Terzaghi y Frölich, utilizando la curva C_3

¹⁷ Espesor de los fangos mareales en el sondeo S-2, más próximo al edificio, según el informe geotécnico

Debemos advertir que el terreno analizado es extremadamente compresible y con una consolidación secundaria¹⁸ muy importante, a causa de la cantidad de material orgánico. Este razonamiento se basa en la interpretación de sólo dos ensayos y tiene una incertidumbre añadida a pesar de que se ha prolongado el tiempo del ensayo más de lo que indica la norma (24 h.): 117 días para la muestra procedente del S-7 y 46 días para la procedente del S-5. Aun así, al retirar la muestra del edómetro no se había detenido el proceso de consolidación.

Por ello es recomendable adoptar un valor C_v medio igual a 15 ó 20, con lo que estaríamos en tiempos de consolidación de 20 a 25 años, por lo que el proceso aún no ha finalizado.

¹⁸ Se llama consolidación secundaria aquella que sucede en cuanto el agua de los poros ha sido totalmente expulsada.

CALIDAD DE LAS AGUAS

Al constatar el olor fétido de los gases que emanaban del sondeo S-1 y dado que los asientos que presentaban algunas aceras hacían suponer que podría existir algún problema de filtraciones de la red de saneamiento, consideramos de gran utilidad para confirmar o descartar este extremo el realizar un análisis químico del agua extraída del sondeo para comprobar su calidad.

Los resultados del análisis de laboratorio del agua extraída del S-1 confirmaron una contaminación de origen fecal debido a la presencia de *colis fecales*.

Por lo tanto se procedió a realizar análisis similares en otros tres sondeos, distribuidos a ambos lados de la avenida Eduardo Pondal, para verificar si se trataba de un caso aislado o si en cambio existía algún patrón de tipo zonal. Se seleccionaron los sondeos S-4, S-14 y S-12.

Parámetro analizado	Unidades	Datos del Anllóns	Resultado por localización de la muestra				
			Fecha de extracción				
			Río Pelamio 11/03/10	S-1 30/11	S-4 17/02	S-14 17/02	S-12 18/02
DBO ₅	mg O ₂ / L		11	283	18	18	178
DQO total	mg O ₂ / L		<30	395	37	88	346
Nitrógeno amoniacal	mg N / L		< 0,05	16,9	0,34	6,05	20,6
Coliformes totales	UFC/100 ml		10.350	650	8700	1100	50
Escherichia Coli	UFC/100 ml		50	<10	115	150	<10
Estreptococos fecales	UFC/100 ml		53	195	230	10	20

Como vemos en el cuadro superior, en todas las muestras se identificaron en mayor o menor medida *colis fecales*, lo que demuestra que en las inmediaciones de los sondeos indicados existe alguna fuente de aguas fecales, bien sea por desperfectos en la red de saneamiento (como podría ser en el caso del S-12, localizado en la avenida Eduardo Pondal), bien por la existencia de alguna fosa séptica o pozo en desuso, o por filtraciones procedentes del Pelamio o del Rego de los Prados.

Para comprobar hasta qué punto podían estar contaminados los ríos Pelamio y Rego de los Prados o el agua de las marismas, se analizaron también las siguientes características físicas mediante instrumental de campo: ph, conductividad, sólidos en suspensión y oxígeno disuelto, en 5 puntos diferentes (plano nº 3) y con estos resultados:

Zona	Ph		Temperatura		Sólidos en suspensión		Conductividad		Oxígeno disuelto	
	Fecha		Fecha		Fecha		Fecha		Fecha	
	1-feb	17-feb	1-feb	17-feb	1-feb	17-feb	1-feb	17-feb	1-feb	17-feb
1	7,56	7,29	9,30	9,90	0,11	0,14	0,26	0,29	5,80	5,70
2	7,37	7,38	9,00	9,90	0,10	0,25	0,20	0,51	5,80	5,80
3	7,34	7,29	9,20	10,00	0,10	0,14	0,20	0,28	5,60	5,70
4	7,25	7,49	9,40	10,60	0,12	0,20	0,23	0,39	5,60	5,90
5		7,24		9,10		0,50		1,01		5,20

Nota: en los ríos se realizó el análisis en dos ocasiones, en la marisma sólo en una.



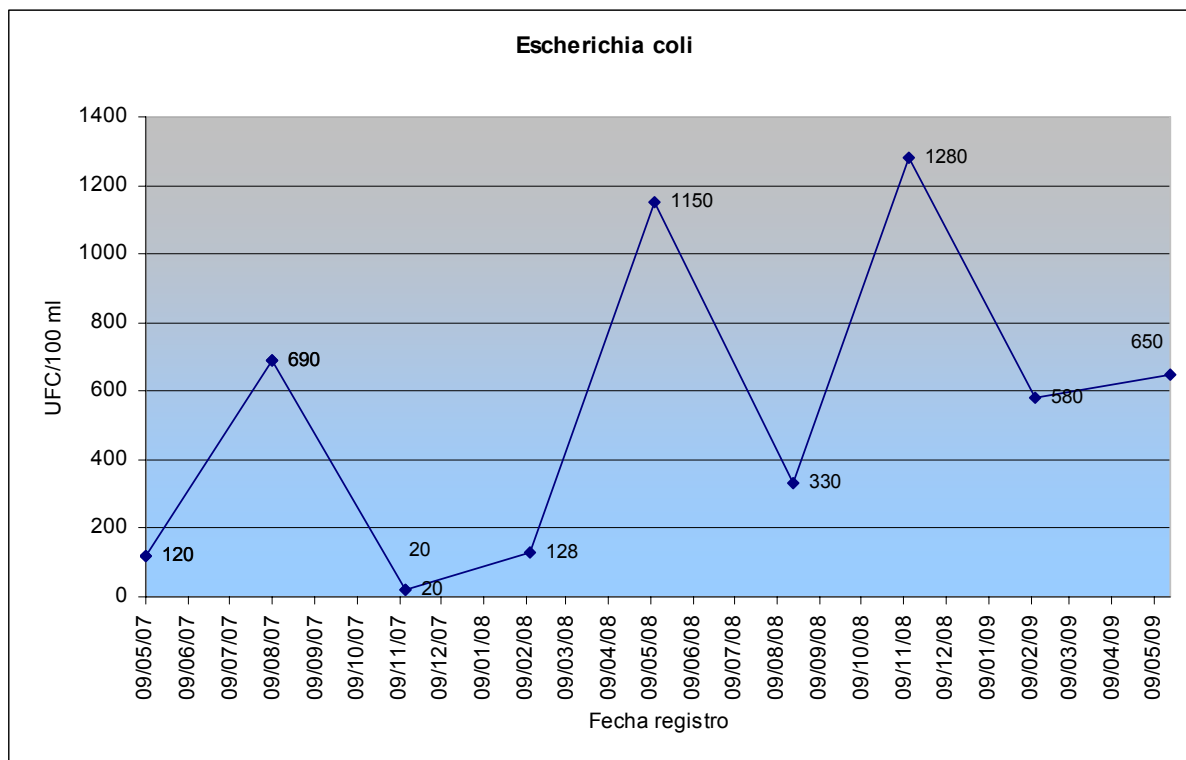
Detalle de los instrumentos de campo en una de las lecturas realizadas

Los resultados obtenidos se compararon con parámetros químicos utilizados para definir cuándo un agua residual es urbana y con datos históricos de calidad del agua facilitados por Aguas de Galicia procedentes de la Estación de Calidad del agua del Anllóns.

Según estos parámetros, los ríos Pelamio y Rego de los Prados y el agua de la marisma presentan una calidad baja. Con una DBO $5 > 10$ y el oxígeno disuelto $< 6,6$ estarían clasificados como de dudosa calidad o en malas condiciones.

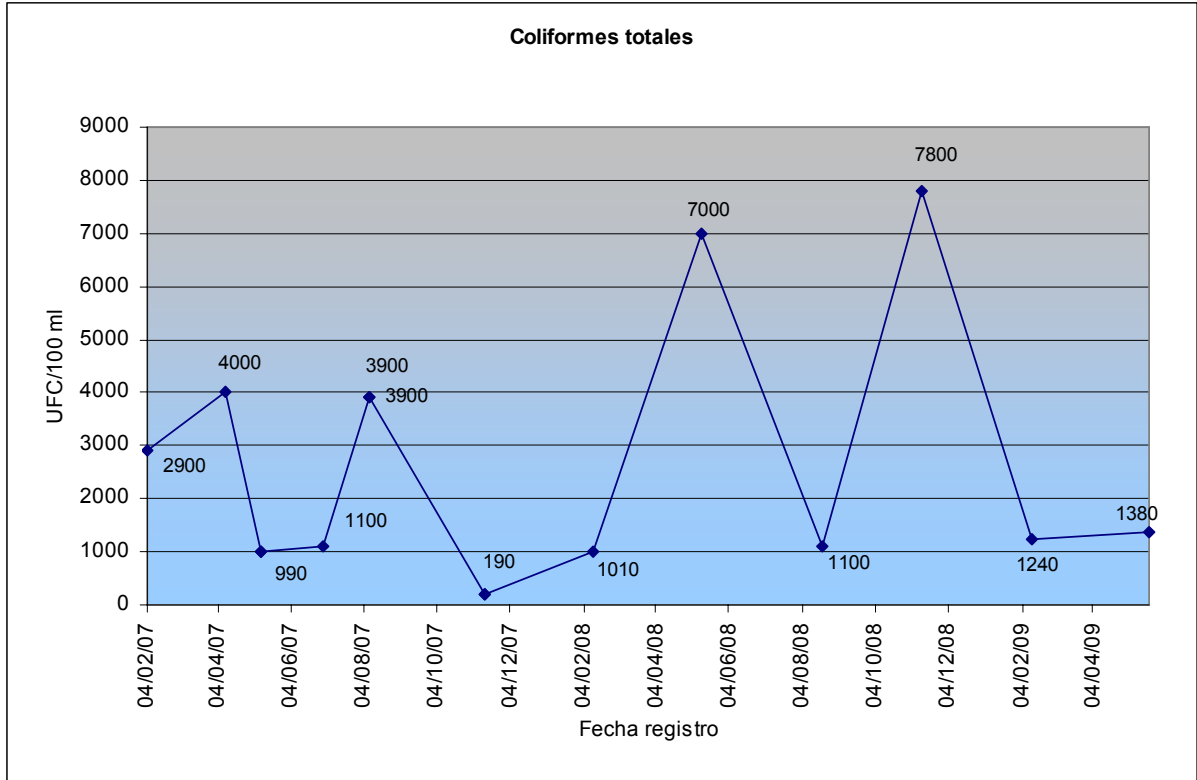
En lo referente a la comparativa con los datos históricos del Anllóns, se han representado los últimos tres años, desde el 2007 hasta el 2009. Los valores obtenidos en campo y por análisis químico son en algunos casos peores a los del Anllóns.

Comparando los valores de los gráficos siguientes con los de los cuadros de la página anterior, se puede apreciar esta situación¹⁹:

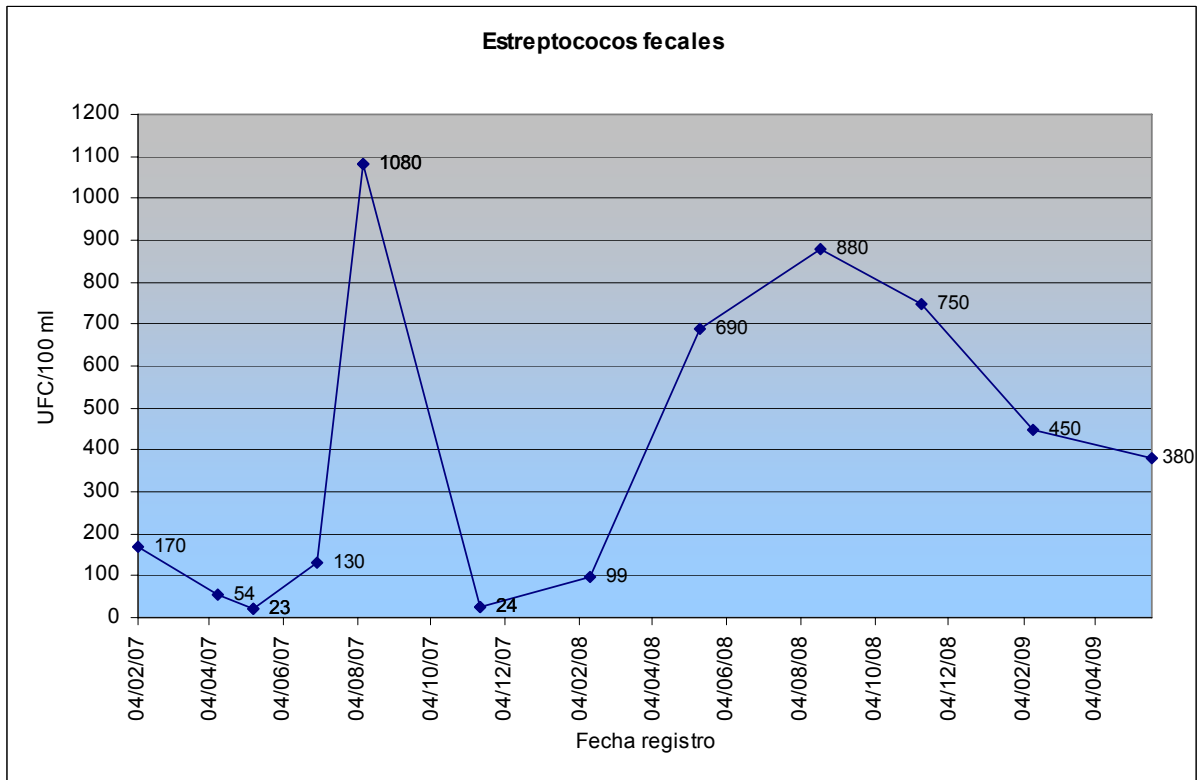


Fuente: Augas de Galicia. Elaboración propia.

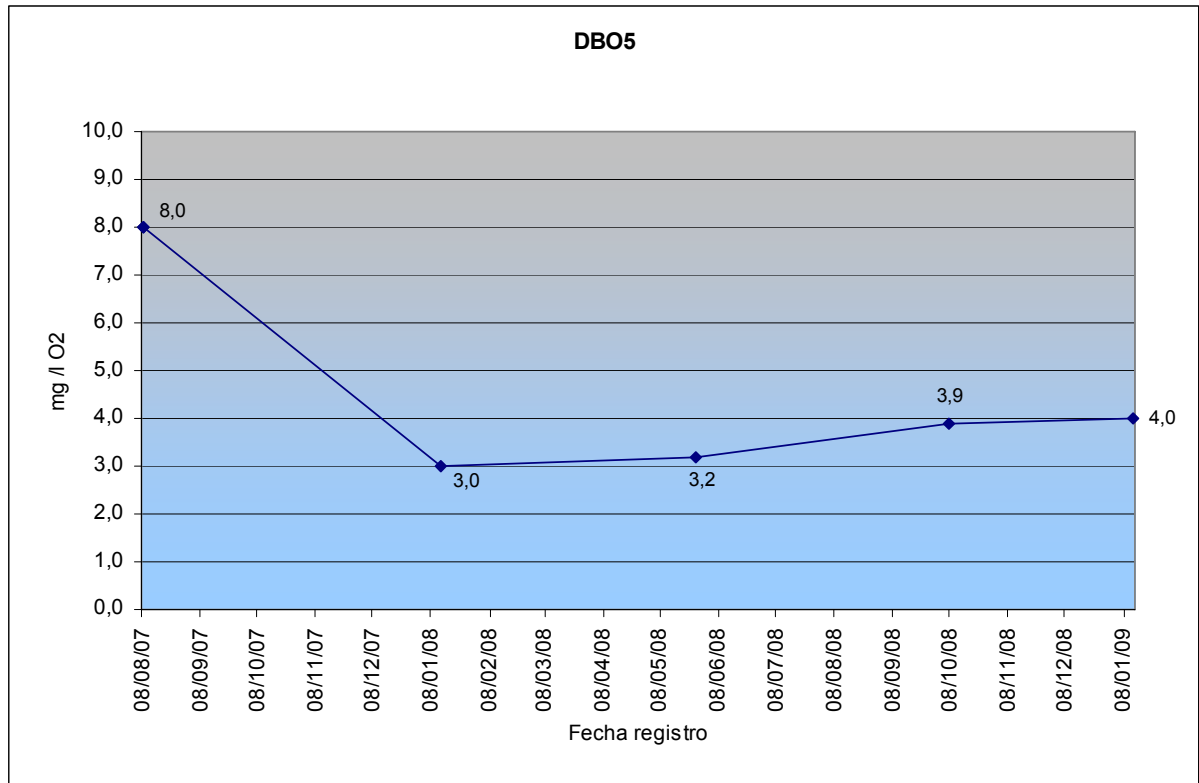
¹⁹ Los datos obtenidos no se han podido reflejar en los gráficos siguientes por ser de distintas fechas.



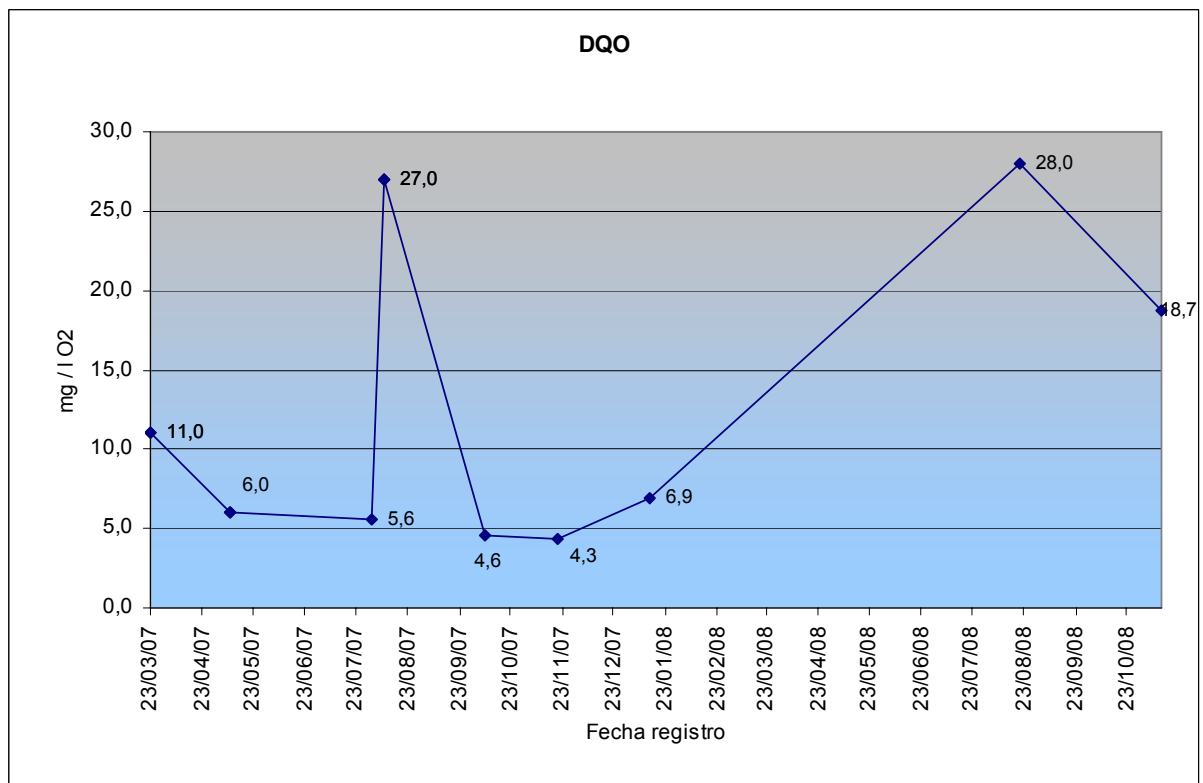
Fuente: Aguas de Galicia. Elaboración propia.



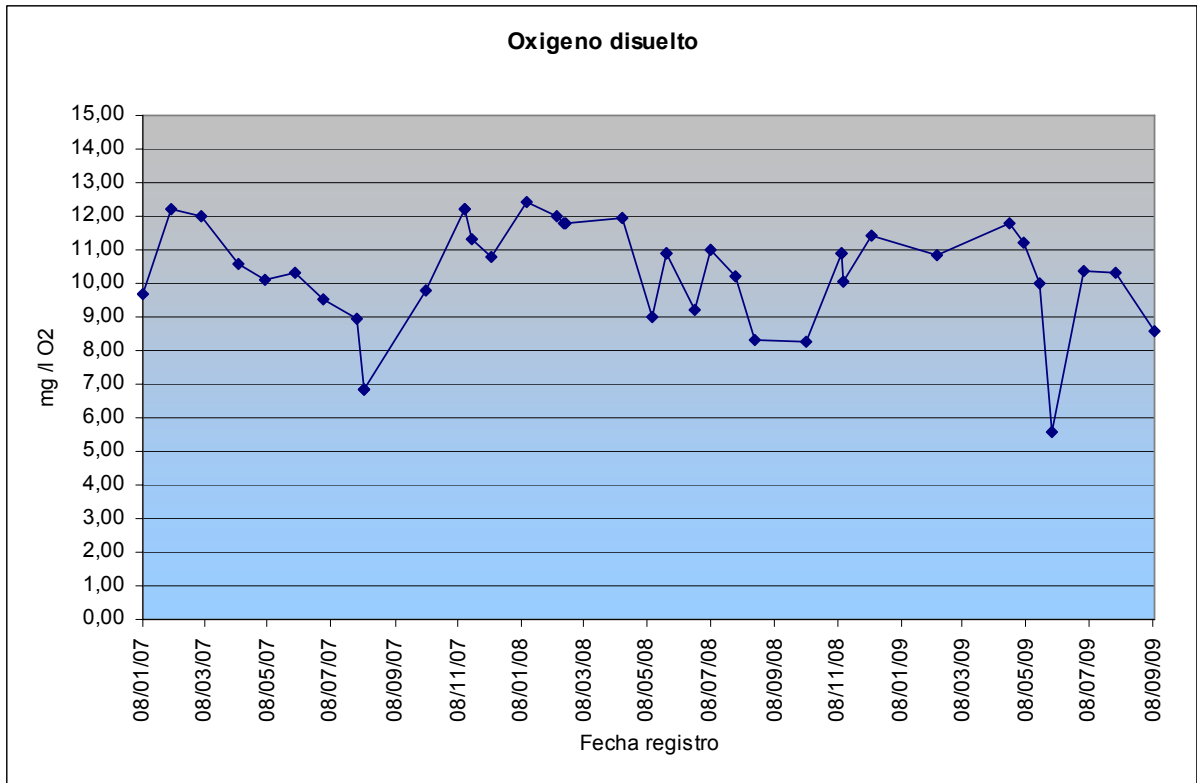
Fuente: Aguas de Galicia. Elaboración propia.



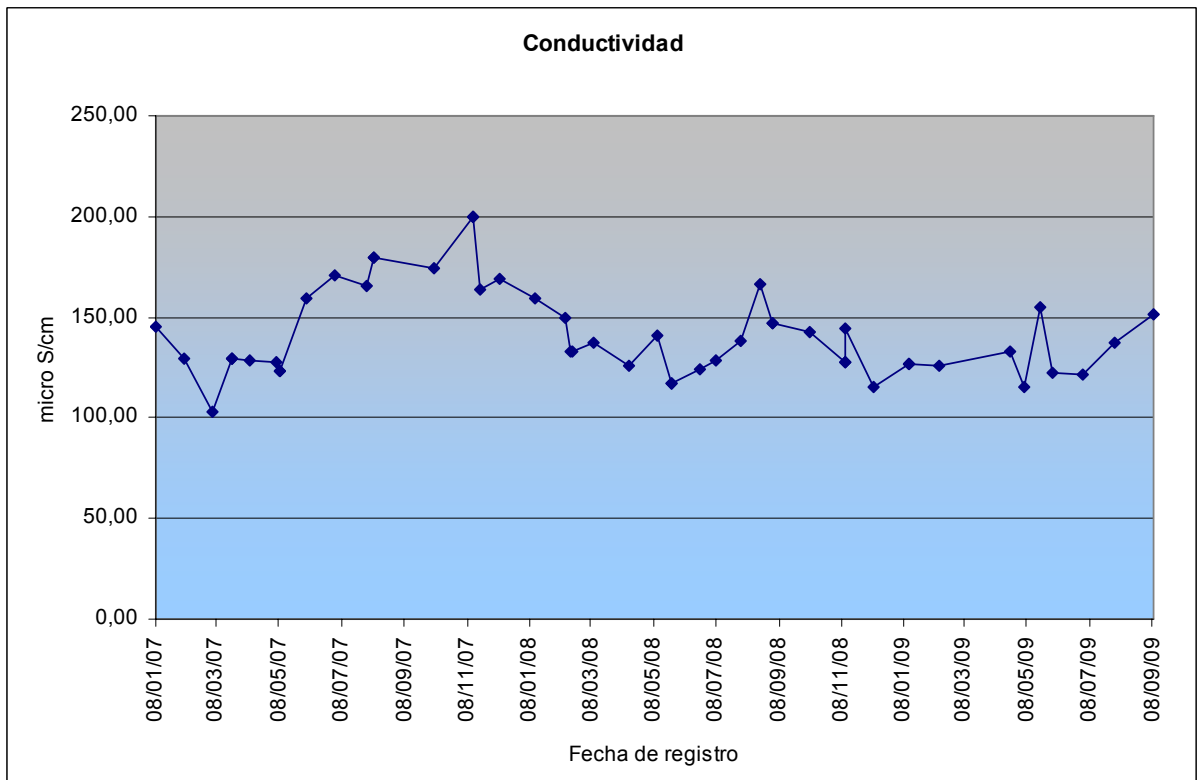
Fuente: Augas de Galicia. Elaboración propia.



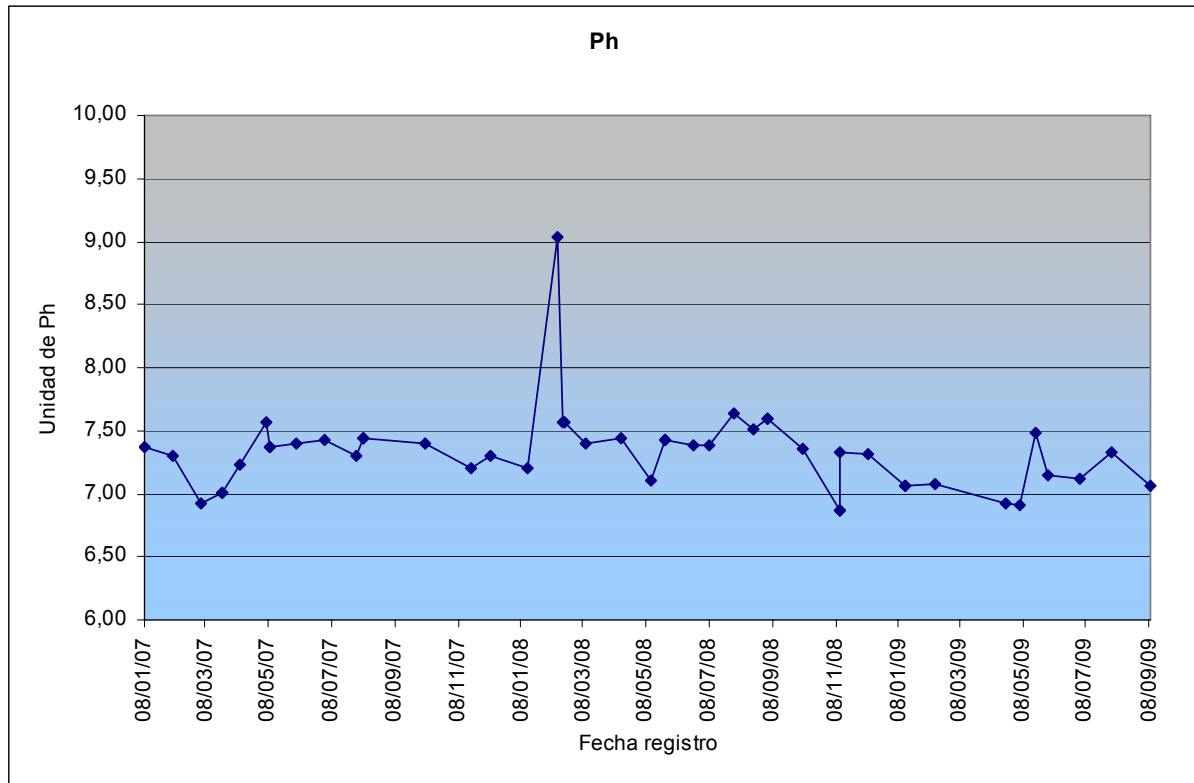
Fuente: Augas de Galicia. Elaboración propia.



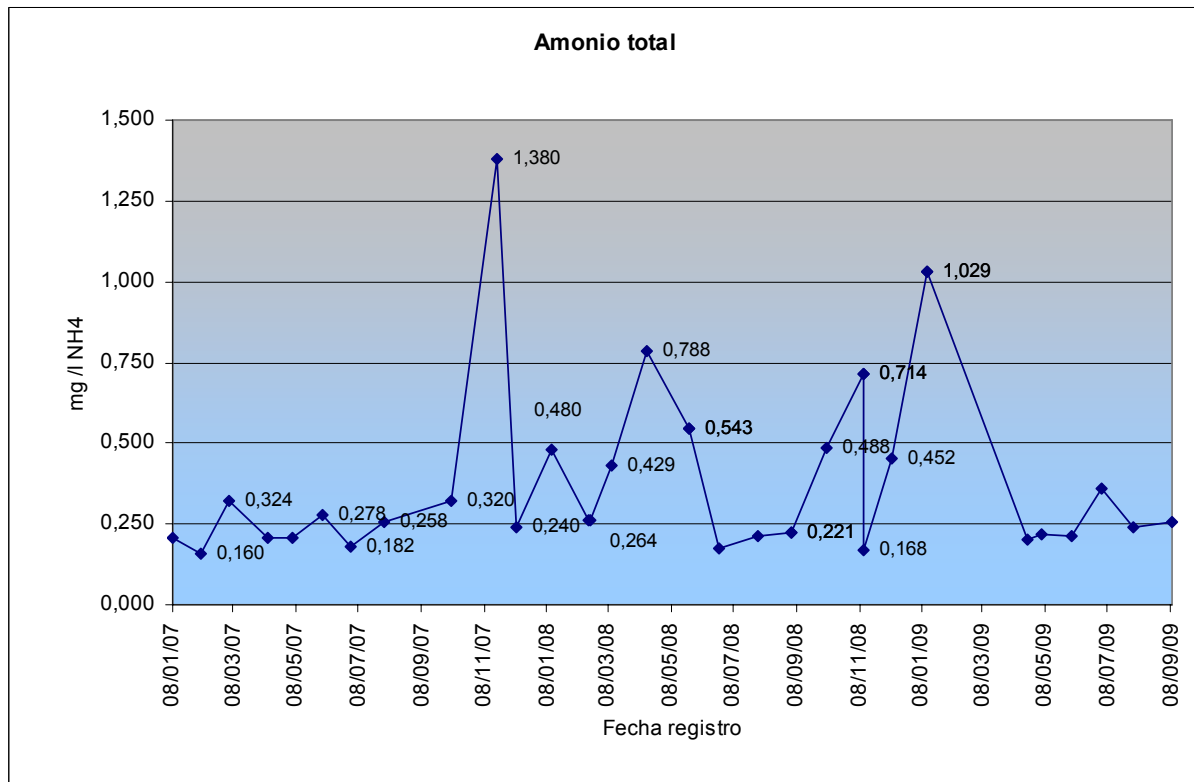
Fuente: Augas de Galicia. Elaboración propia.



Fuente: Augas de Galicia. Elaboración propia.



Fuente: Aguas de Galicia. Elaboración propia.



Fuente: Aguas de Galicia. Elaboración propia.



De la comparativa surge que los valores registrados en el Anllóns en muchos casos son inferiores, es decir, estaría menos contaminado que los otros dos ríos y que el agua de la marisma.

CRONOLOGÍA DE LAS GRIETAS EN LOS INMUEBLES. AUSCULTACIÓN

Para uniformizar la información disponible respecto a las fechas de aparición de las primeras grietas en las viviendas y sus localizaciones dentro del casco urbano, se propuso al Ayuntamiento un modelo de cuestionario para distribuir entre los propietarios de inmuebles dentro de la zona en estudio. La finalidad era la de establecer un calendario aproximado de aparición de las grietas, comprobar el alcance territorial y valorar si se podían relacionar con algunas de las obras recientes o con algún otro factor, como la pluviometría. La Policía Local fue la encargada de la distribución y recogida del cuestionario que se realizó en el mes de noviembre del 2009²⁰.

Se recogieron 36 respuestas cuyo análisis arrojó las siguientes conclusiones²¹:

- Un primer grupo de grietas aparecen en los meses de marzo, junio y septiembre del 2008.
- Un segundo grupo aparecen en los meses de febrero, marzo y abril del 2009.
- Los últimos edificios dañados de la avenida son al este el nº 31 y el nº 32. Y al oeste el nº 13 y el nº 2.
- Además de estos edificios, y fuera de la avenida Eduardo Pondal, presenta grietas el edificio situado en el nº 1 del paseo Fluvial.

Esta identificación nos permitió deducir:

- Que las grietas, como mínimo, se concentran a lo largo de la avenida Eduardo Pondal —como se supuso en un principio— y en una zona concreta, delimitada al norte por la EDAR; al sur por el río Anllóns; al este por el río Rego de los Prados y al oeste por la plaza del Relleno.
- Que el primer grupo de grietas aparece antes de que comience la excavación del solar de la travesía Relleno, y después de iniciada la excavación en la parcela de Eduardo Pondal 21, en las inmediaciones de ésta: los portales número 19, 27 y 31.
- Que el segundo grupo de grietas comienza a partir de enero del 2009, a dos meses de finalizada la excavación del solar de la travesía Relleno, y la mayoría son próximas a ella: Eduardo Pondal 2, 4, 6, 8, 10, 12, 13, 14, 15 y 18; y además en Eduardo Pondal 20, 26, 32, 13, 15, 19, 25 y 27; y travesía Relleno 2.

Como información adicional, en el caso concreto del inmueble de Eduardo Pondal, 8 bajo, contábamos también con los resultados del informe de patología encargado por el Banco Gallego a la empresa Enmacosa, SA.

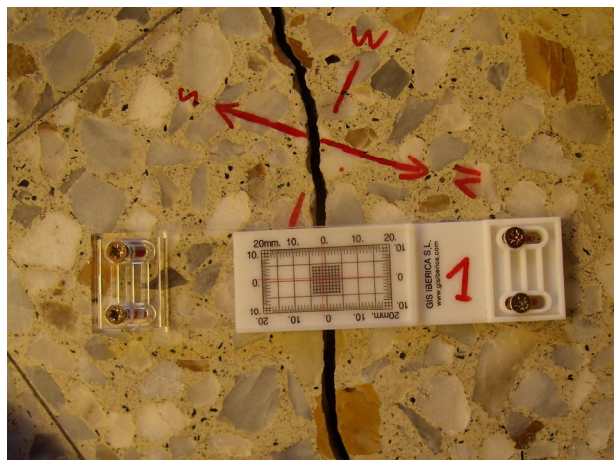
En este estudio se realizó una auscultación de grietas mediante cinco fisurómetros distribuidos por distintos paramentos y cielorrasos de la parte trasera del local, colocados el día 23/06/09. La evolución de las grietas registradas por los fisurómetros más significativos

²⁰ No en todos los casos se tuvo conocimiento de las grietas gracias al cuestionario, también se completó el mapa de grietas gracias a las visitas realizadas.

²¹ Plano nº 2.

durante la fase de seguimiento (del 23/06/09 al 22/10/09) indican un gran desplazamiento en los primeros 100 días (aproximadamente hasta primeros de octubre) para luego de forma más suave disminuir su intensidad y, en la última medición, estabilizarse con una tendencia asintótica.

Los fisurómetros son instrumentos que permiten cuantificar la actividad de una grieta en función del tiempo y la temperatura. Los utilizados para este caso concreto están formados por dos piezas las cuales se fijan cada una a una parte de la fisura de forma permanente, y llevan incorporada una escala graduada.



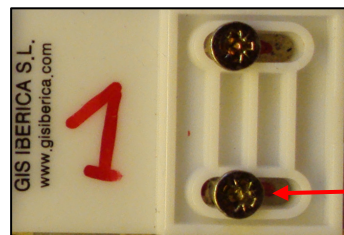
Detalle del fisurómetro nº 1 colocado en avenida Eduardo Pondal 14, 5º Derecha

Con el fin de obtener información de la actividad de las grietas de tracción del edificio de la avenida Eduardo Pondal 14, se implementó una campaña de auscultación mediante siete fisurómetros: cinco colocados en las escaleras del edificio, uno en la vivienda del 5º derecha y otro en la del 4º derecha:

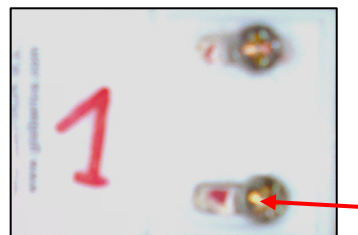
Fisurómetro	Emplazamiento
1	Solado dormitorio principal vivienda 5º derecha
2	Paramento vertical oeste, escalera 5ª planta
3	Paramento vertical este, escalera 5ª planta
4	Techo rellano de escalera 3ª planta
5	Techo rellano de escalera 2ª planta
6	Paramento vertical este, rellano escalera 1ª planta
7	Techo pasillo vivienda 4º derecha

Estos instrumentos no registraron actividad alguna durante el período de lectura, del 18/11/09 al 2/2/10. La medición realizada el primer día prácticamente se mantuvo todo el período.²²

Queremos resaltar que en la visita realizada el día 19/12/09 para su lectura, el fisurómetro 1 presentaba un desplazamiento anormal de los tornillos de sujeción al solado, por lo que su funcionalidad y lectura quedó invalidada por motivos procedimentales. Hasta ese momento no se había detectado actividad de la grieta, que desde su primera lectura del día 18/11/09 hasta la última (válida) del 4/12/09 fue de 4,5 mm.



Detalle posición de las fijaciones
a 18/11/09



Detalle posición de las fijaciones
a 29/12/09

²² Se apreciaron movimientos de décimas de milímetro. El documento completo puede leerse en el anexo de documentación.

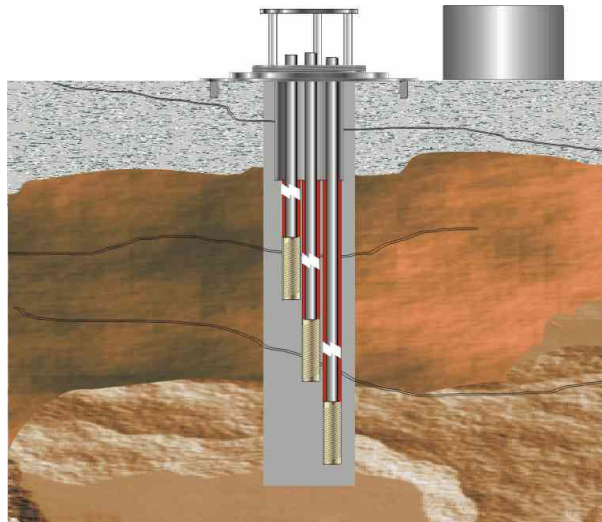
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LOS EXTENSÓMETROS.

Dado el estado de agrietamiento de las edificaciones añadidas a la parte trasera de los inmuebles de los números 4, 6, 8, 10 y 14 de la avenida Eduardo Pondal, era de gran importancia conocer si los movimientos del subsuelo, y en especial al sur de este vial, aún continuaban. La mejor manera de obtener esa información era mediante la instalación de extensómetros de varillas.

Para entender mejor la información que proporcionan nos detendremos a explicar un momento su instalación y funcionamiento.

Los extensómetros de varillas son equipos que se instalan en sondeos para la visualización del cambio de distancia entre dos o más puntos a lo largo del eje del sondeo. Estos equipos permiten medir movimientos relativos entre la cabeza del mismo y uno o varios puntos situados en el interior de la perforación.

Los movimientos del terreno se transforman en desplazamientos de las varillas (ascensos y/o descensos) que se transmiten hasta la superficie, que son medidas mediante un sistema mecánico o por medios de transductores eléctricos situados solidariamente con las varillas (independientes para cada una de ellas) en la boca de perforación.



Esquema de instalación de un extensómetro de 3 varillas

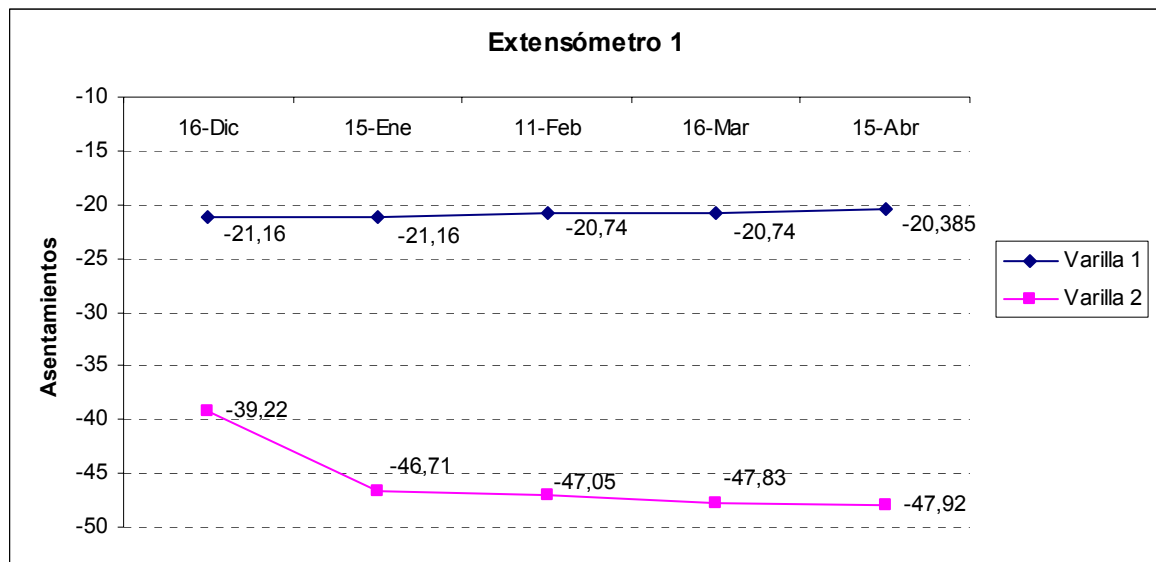
Con el fin de cuantificar los desplazamientos se colocaron seis extensómetros con la siguiente distribución: en el sondeo S-5 el extensómetro E-1, en el sondeo S-6 el extensómetro E-2, en el sondeo S-7 el extensómetro E-3 y en el sondeo S-10 el extensómetro E-5, todos ellos al sur de Eduardo Pondal. En el sondeo S-9 el extensómetro E-4 y en el sondeo S-11 el extensómetro E-6, estos últimos al norte de Eduardo Pondal (plano nº 1).

EXTENSOMETRO	FECHA DE INSTALACION	Nº ANCLAJE	PROF. ANCLAJE
E-1	25/11/2009	1	6
		2	13
E-2	30/11/2009	1	7
		2	14
		3	20
E-3	02/12/2009	1	7
		2	14
		3	20
E-4	14/12/2009	1	6
		2	11
E-5	14/12/2009	1	7
		2	14
		3	27
E-6	16/12/2009	1	8
		2	15

El análisis de las lecturas de estos instrumentos a día 15/04/09 reveló que los mayores asentamientos del terreno (y movimientos en general, ya que incluso se han constatado ascensos) se producen a lo largo de un eje imaginario horizontal que une los extensómetros E-1, E-3 y E-5.

Como puede verse en los gráficos siguientes, los descensos medidos en estos tres extensómetros son significativos, alcanzando en algunos casos 9,4 mm (E-3) y ocurridos en los dos primeros meses. A partir de estos, las lecturas son muy similares indicando una estabilización de los movimientos del subsuelo.

Nota: En los cuadros siguientes los valores negativos indican un descenso de la varilla y los positivos un ascenso.

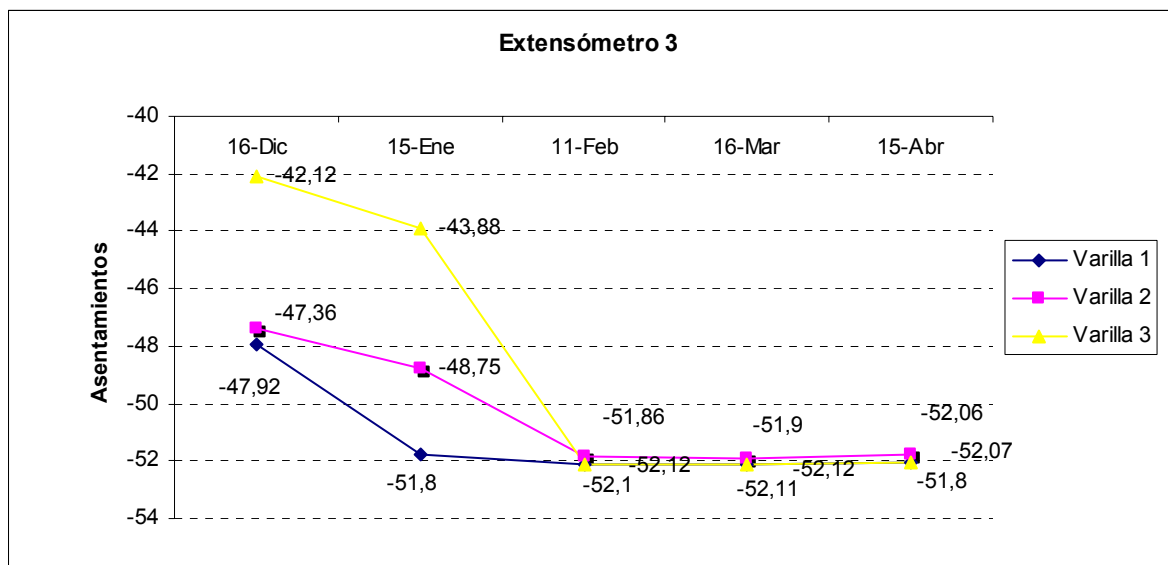


	16-dic	15-ene	11-feb	16-mar	15-abr
Varilla 1	-21,16	-21,16	-20,74	-20,74	-20,385
Varilla 2	-39,22	-46,71	-47,05	-47,83	-47,92

Movimiento varilla 1: 0,775 mm
 Movimiento varilla 2: -8,70 mm

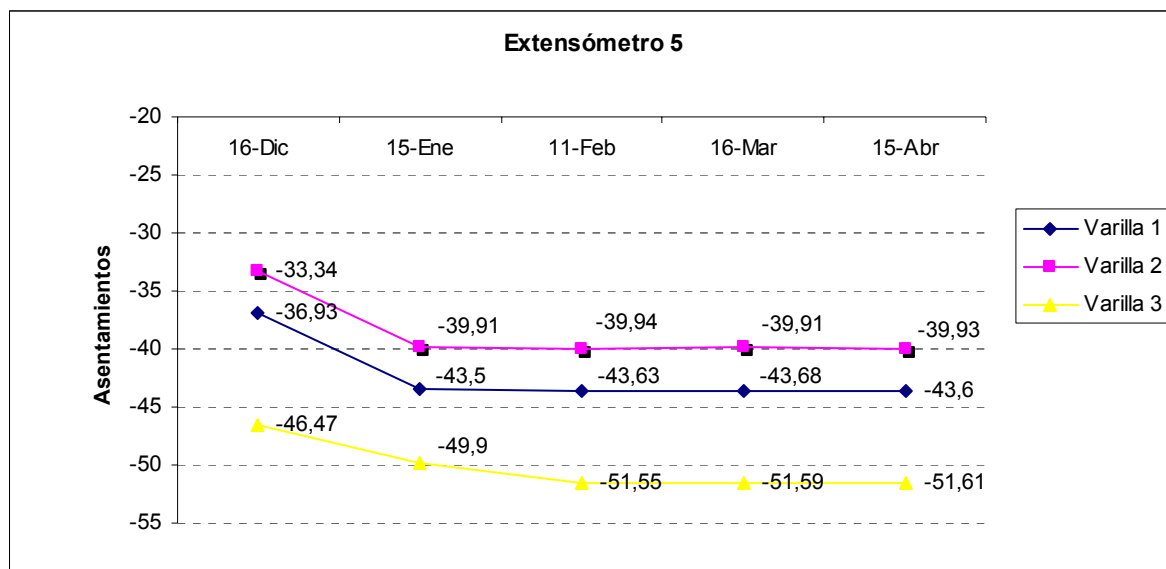


Vista del instrumental interno del extensómetro E-1 emplazado en el S-5, detrás de "Santy fotógrafo".



	16-dic	15-ene	11-feb	16-mar	15-abr
Varilla 1	-47,92	-51,80	-52,12	-52,12	-52,07
Varilla 2	-47,36	-48,75	-51,86	-51,90	-51,80
Varilla 3	-42,12	-43,88	-52,10	-52,11	-52,06

Movimiento varilla 1: -4,15 mm
 Movimiento varilla 2: -4,44 mm
 Movimiento varilla 3: -9,94 mm



	16-dic	15-ene	11-feb	16-mar	15-abr
Varilla 1	-36,93	-43,5	-43,63	-43,68	-43,60
Varilla 2	-33,34	-39,91	-39,94	-39,91	-39,93
Varilla 3	-46,47	-49,9	-51,55	-51,59	-51,61

Movimiento varilla 1:	-6,67	mm
Movimiento varilla 2:	-6,59	mm
Movimiento varilla 3:	-5,14	mm

Una vez conocidos los primeros datos de los extensómetros (especialmente los E-1 y E-2 emplazados en las proximidades de las edificaciones traseras de la avenida Eduardo Pondal) y teniendo en cuenta la gravedad de las grietas ya apreciada en la inspección visual, se decidió seleccionar cuatro de entre estos añadidos para realizar un control más exhaustivo de pendientes: la del pavimento de planta baja de “Santy fotógrafo”, de la oficina del Banco Gallego y de la oficina de La Caixa, y la pendiente del pavimento de la primera planta de Reale Seguros.

El día 15/01/10 se realizó una primera medición y se constató que los asientos diferenciales alcanzaban magnitudes importantes, presentando los cuatro locales pendientes similares del 2% que superaban ampliamente los valores de distorsión angular máxima admisible para la aparición de daños estructurales. Este máximo se establece empíricamente en $L/150$ siendo “L” la distancia entre los pilares que presentan asientos diferenciales en sus cimientos.

En el caso concreto de “Santy fotógrafo”, del que ya teníamos una primera medición del día 4 de noviembre, la pendiente del forjado había aumentado, con respecto a esta segunda medición, el equivalente a un descenso de 0,6 cm, lo que significaba un acumulado de más de 8 cm (la distorsión angular máxima admisible para este caso concreto según la definición

dada en el párrafo anterior es igual a $350 \text{ cm}/150 = 2,33 \text{ cm}$).²³. Dato corroborado con la lectura obtenida del E-1 que en el período 16/12/09 - 16/03/10 registró un asiento de 8,61 mm.

Tanto en este caso como en los otros tres locales estudiados, y teniendo en cuenta que no nos consta que los asientos estén estabilizados, las grietas han alcanzado tal magnitud que los muros de estos añadidos son gravemente inseguros. Además, existe la posibilidad de daño estructural al haber alcanzado las estructuras, o estar próximo a ello, las máximas deformaciones tolerables (según los criterios ya comentados).

Dada la similitud constructiva (luces entre pilares y tipo de cimentación) que tienen los cuatro añadidos estudiados respecto a otros de este mismo vial, la situación descrita y gravedad de la misma es extrapolable a éstos, como ya se informó al Ayuntamiento mediante escrito de fecha 21 de enero, donde se aconsejaba que los propietarios de todos los bienes afectados sean informados inmediatamente de la situación y sean acometidas cuanto antes las tareas de apuntalamiento de fachadas y cerramientos, y se inicien los trabajos de reparación estructural que los estudios técnicos pertinentes consideren adecuados atendiendo a las características constructivas de cada inmueble.

²³ Hay que tener en cuenta que según el Documento básico SE-C del CTE, este límite lo sitúa en L/300, valor bastante más conservador que el que estamos utilizando, y con el que se obtendría un valor máximo de asentamiento para este caso de 1,17 cm, ampliamente superado por los 8,6 cm existentes.

CONCLUSIONES

El subsuelo del casco urbano está formado, en sus primeros 15 m. aproximadamente y según la zona, por rellenos antrópicos y fangos mareales con altos valores de permeabilidad. Posee una consolidación secundaria muy importante a causa de la gran cantidad de material orgánico que contiene lo que explica que el proceso de consolidación de las marismas, a pesar del tiempo transcurrido desde su saneo, aún no haya finalizado.

A lo largo de los últimos años este proceso natural de consolidación ha estado produciendo asientos que han ocasionado el desplome de algunos edificios y grietas en viviendas y aceras. Estas patologías se manifiestan con mayor intensidad en una zona concreta del casco urbano delimitada por la EDAR al norte; el río Anllóns al sur; el río Rego de los Prados al este y la plaza del Relleno al oeste.

En algún momento entre el segundo semestre del año 2007 y los primeros meses del 2009 el proceso natural de consolidación fue alterado por acciones externas inducidas al subsuelo que produjeron un descenso del nivel freático que en algunas zonas llegó a ser de casi 2 m respecto al del 2007. En algunos casos estos niveles se recuperaron, en otros no.

Esto ocasionó una redistribución de tensiones efectivas en el subsuelo que produjo un aceleramiento de la consolidación de los rellenos antrópicos y de los fangos, causando un asiento diferencial importante de la cimentación de algunos edificios, especialmente de aquéllos con un sistema superficial.

Estos efectos son de distinta magnitud al norte o al sur de la avenida Eduardo Pondal siendo más intensos estos últimos, evidenciado por el distinto comportamiento que debido a las comentadas acciones externas —y a las naturales, como la pluviometría y el régimen mareal— tiene la capa freática. Esto podría ocurrir por una suerte de efecto “barrera” del vial debido a sus características constructivas.²⁴

Este aceleramiento del proceso de consolidación puede atribuirse como mínimo a dos causas no simultáneas:

- El proceso de excavación de los muros pantalla en la promoción de viviendas de travesía Relleno ha causado un descenso del nivel freático que aún a día de hoy no se ha recuperado (quizás por no recibir el aporte del Anllóns debido al obstáculo que significa la propia obra). Esto afectaría a una zona delimitada al sur por la propia obra, al este por el río Pelamio, al norte por la avenida Eduardo Pondal y al oeste por la plaza del Relleno.

²⁴ “... Y a ambos lados se levantaron muros de sostenimiento coronados por losas de cantería”. *Ponteceso, el nacimiento de un pueblo*, de Jaime Valdés Parga (Pág. 82.). En referencia a la construcción de la actual avenida Eduardo Pondal en el año 1856. El libro cita también la construcción de cuatro alcantarillas que comunicaban ambos lados de la avenida para favorecer la circulación de las aguas. Dos de ellas podrían ser las que a día de hoy conducen el río Pelamio y el río Rego de los Prados, las otras dos estimamos que se encuentran obturadas o destruidas por el paso del tiempo y las sucesivas modificaciones que ha tenido la avenida.

- La depresión del nivel freático realizada para la excavación del edificio de Eduardo Pondal 21. El alcance de sus efectos es difícil de cuantificar y, como el caso anterior, estaría circunscrito por obstáculos, naturales o no, y como mínimo afectaría a una zona delimitada al sur por la avenida Eduardo Pondal; al oeste por el río Pelamio, al norte por la EDAR y al este por el edificio del número 33 (primero sin grietas en esa zona según la consulta realizada). No parece que los efectos continúen en la actualidad, ya que el nivel freático se ha recuperado y las tensiones inducidas al terreno en un perímetro de menos de 10 m son mínimas.

Este aceleramiento del proceso de consolidación parece que ha finalizado, sus efectos están atenuados y podría haber retomado su velocidad previa.

De forma independiente, el efecto del régimen mareal, es decir, las oscilaciones del nivel freático producidas en las proximidades de las riberas de los ríos Pelamio y Rego de los Prados, serían las causantes de una pérdida de finos por lavado y motivo de asentamientos en las zonas cercanas a estos ríos. Sería este el principal efecto de las mareas en el casco urbano.

En todas las muestras de aguas se identificaron en mayor o menor medida *colis fecales*, lo que demuestra que en las inmediaciones de los sondeos en los que se extrajeron estas muestras existe alguna fuente de aguas fecales, bien sea por desperfectos en la red de saneamiento (como podría ser en el caso del S-12 localizado en la avenida Eduardo Pondal), bien por la existencia de alguna fosa séptica o pozo en desuso, o por filtraciones procedentes del Pelamio o del Rego de los Prados.

En el ensayo de consolidación se obtuvieron presiones de preconsolidación inferiores a las que podría transmitir al subsuelo una edificación de una o dos plantas, similares a los añadidos de la avenida Eduardo Pondal. Esto explicaría por qué no habían experimentado asentamientos hasta ahora.

En todo este análisis se ha dejado de lado el edificio de Eduardo Pondal 18 porque creemos que su estado actual no fue provocado por los motivos comentados más arriba, sino por factores inherentes al edificio y evidenciados por una patología estructural muy concreta.

RECOMENDACIONES

Se hacen a continuación una serie de recomendaciones con la finalidad de evitar que se agrave la situación actual y de que se repita en un futuro, aunque esto último dependerá de la evolución de las grietas y asientos, y del grado y premura de las medidas adoptadas.

Es extremadamente importante que se realicen controles periódicos de las edificaciones con problemas, especialmente aquellas con desplomes, los añadidos a la avenida Eduardo Pondal y las ubicadas en las riberas de los ríos Pelamio y Rego de los Prados.

Sería conveniente proteger y conservar los sondeos mediante arquetas registrables para futuras mediciones y controles.

Con carácter urbanístico sugerimos:

- No permitir edificaciones en las proximidades de las riberas de los ríos Pelamio y Rego de los Prados.
- Restringir en la zona afectada el número de sótanos permitidos a uno, o si es posible a ninguno.
- Revisar la edificabilidad de la zona afectada y no permitir construir más de dos plantas sobre rasante.
- Revisar los usos permitidos en la zona evitando aquellos que sean atractores de tráfico pesado.
- La cimentación en estas zonas debería plantearse mediante cimentación profunda, evitando la cimentación superficial tanto en los rellenos superiores como en el nivel definido como fangos marinos, dadas las características geotécnicas de los mismos.

Advertir a la población de la contaminación de fecales presente en el agua del subsuelo y condicionar su uso agrícola a controles químicos previos.

Que los propietarios de todos los bienes afectados sean informados inmediatamente de la situación y sean acometidas cuanto antes las tareas de apuntalamiento de fachadas y cerramientos, y se inicien los trabajos de reparación estructural que los estudios técnicos pertinentes consideren adecuados atendiendo a las características constructivas de cada inmueble.

En Vigo, a 30 de abril del 2010.

Este documento consta de carátula, índice, sesenta y ocho páginas y anexos de planos, de documentación y fotográfico.

Fdo.: Sergio Franco Bastianelli
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Colegiado N° 12.644