

Influencia de la geología en el diseño de infraestructuras de saneamiento

El plan integral de Avilés y su entorno industrial

Miguel Torres Alonso y Manuel Gutiérrez Claverol

DESCRIPTORES

RÍA DE AVILÉS (ASTURIAS)
SANEAMIENTO
COLECTORES INTERCEPTORES DE AGUAS URBANAS
COLECTOR DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES
ESTACIÓN DEPURADORA
EMISARIO SUBMARINO

Introducción

La elaboración del *estudio geológico* sobre el terreno de fundación de una obra de saneamiento consideramos que es de capital importancia. Constituye una base de partida imprescindible para el planteamiento de un adecuado proyecto geotécnico y constructivo. Representa un reducido coste económico, en relación con los restantes capítulos (estudios de prospección del terreno, estudios de laboratorio, etc.) que integran la evaluación del terreno como elemento de apoyo y cimentación. La calidad del estudio está directamente relacionada con el grado de profesionalidad de los responsables de su ejecución y con la información geológica preexistente.

Las investigaciones de nexo geológico permiten obtener una visión global y tridimensional de la problemática que se puede plantear en el entorno de la futura infraestructura, permitiendo centrar y abaratar la elaboración del informe geotécnico propiamente dicho, en concreto: la elección de los métodos de prospección más idóneos, la densidad óptima de puntos de investigación y los ensayos de laboratorio pertinentes para cada problemática.

El informe geológico tiene su plasmación gráfica en la elaboración de un mapa o esquema geológico de la zona de implantación de la estructura proyectada, debiendo abarcar ineludiblemente las áreas periféricas adyacentes que pudieran estar implicadas en la ejecución de la obra; se complementa con la confección de cortes o bloques diagramas que permitan visualizar la disposición de los materiales que configuran el subsuelo en tercera dimensión.

Cabe distinguir entre la cartografía previa y otra posterior, de carácter definitivo. La primera estará basada tanto en datos bibliográficos disponibles, como en los proporcionados por los afloramientos existentes en el ámbito de la zona evaluada. La cartografía definitiva se verá complementada y perfeccionada con los datos extraídos en la campaña de prospección del terreno.

El *estudio geotécnico* de la zona de implantación de una infraestructura de saneamiento está destinado a un mejor y más completo conocimiento del terreno de fundación y a determinar su comportamiento frente a las tensiones, esfuerzos y deformaciones derivados de la ejecución de la obra proyectada. El estudio geotécnico se basa en dos pilares fundamentales: la "prospección del terreno" y los "ensayos de laboratorio". La primera, encaminada a reconocer el terreno en profundidad y los posibles cambios laterales que pudieran existir, permite completar y aquilatar la cartografía elaborada en el estudio geológico previo, la obtención de muestras representativas de los materiales seleccionados y la ejecución de pruebas y ensayos "in situ"; el conjunto de la información obtenida da lugar a una adecuada cualificación del terreno. Los "ensayos de laboratorio" permiten la obtención de los parámetros geomecánicos del terreno y una evaluación cuantitativa del mismo.

La misión tanto de los estudios geológicos como geotécnicos en las obras de saneamiento puede resumirse en: la identificación del terreno, la problemática que éste pueda presentar como elemento de soporte, la estabilidad en las edificaciones y obras de ingeniería civil colindantes y la adopción de soluciones constructivas adecuadas (Sáenz de Santa María et al., 2004).

En esencia, los informes geotécnicos de las infraestructuras de saneamiento requieren abordar estudios específicos y variados, tales como:

- Determinación de la permeabilidad del terreno natural, con el fin de evitar problemas de contaminación de acuíferos en el caso de rotura de los colectores.
- Selección de los métodos de excavación, superficiales o subterráneos, más idóneos para cada tipo de terreno a seccionar.
- Valoración económica de la incidencia del coste de la excavación en función de los materiales afectados (depósitos antrópicos, suelos, rocas alteradas, rocas blandas y rocas competentes).

- Análisis de la problemática del sostenimiento transitorio de las excavaciones lineales en la ejecución de colectores mediante labores superficiales.
- Evaluación de la cimentación o apoyo lineal de los colectores ante el riesgo de deformaciones, asentamientos o desplazamientos.
- Selección y valoración de los tipos de cimentación (superficial o profunda) de las instalaciones de las estaciones depuradoras, en función de la litología del subsuelo.

El plan integral de Avilés y su entorno industrial

A principios de la década de los noventa, la Confederación Hidrográfica del Norte abordó la planificación del saneamiento de la zona central de Asturias, incluyendo en ella el saneamiento integral de la ría de Avilés, territorio altamente degradado (Fig. 1). Se trata de obras de gran envergadura técnica y elevado montante económico.

Los firmantes del presente artículo hemos participado como asesores sobre los aspectos geológicos y geotécnicos en la elaboración del proyecto de construcción del "Interceptor general de la ría de Avilés" (Pello et al., 1992-1993). Asimismo hemos colaborado en el anteproyecto del "Colector interceptor industrial de la ría de Avilés" (Torres Alonso y Gutiérrez Claverol, 2000).

El trazado del "interceptor general" –ya ejecutado– ha sido estudiado mediante tres soluciones alternativas, eligiéndose la "A" (en color rojo en la figura 2), más próxima al canal, así como la zona del paso inferior de la propia ría sita en las proximidades de la zona de la estación de tratamiento. Esta infraestructura recorre la orilla izquierda de la ría e implica su conexión con varios interceptores secundarios constituidos por los ríos Arlós, Magdalena, San Martín, Tulluergo y Raíces.

El "colector interceptor industrial" –pendiente de realización– tiene un desarrollo longitudinal más amplio que el anterior, recorre la margen derecha de la ría y se prolonga a lo largo del valle del río Tabaza, concretamente hasta la acería LD-III de Arcelor, donde conecta con otro colector procedente de las instalaciones de la empresa Du Pont. A lo largo de su trazado se incorporan los residuos industriales de las distintas industrias diseminadas por el entorno (Arcelor, Alcoa, etc.). Finaliza en la estación de tratamiento (E.D.A.R.), construida en el polígono de Maqua. Queda también pendiente la cons-



Fig. 1. Vista panorámica de la zona de desembocadura de la ría de Avilés (Asturias), tomada desde el norte.



Fig. 2. Ortofotomapa del entorno de la ría de Avilés, donde se representan las diferentes soluciones de saneamiento barajadas, la situación de la E.D.A.R. y del emisario submarino.

trucción de un emisario submarino que parte de la depuradora y se adentra en el dominio marino a la altura del meridiano de la playa de Xagó (Fig. 2).

Estudio geológico del dominio de la ría de Avilés

El entorno de esta ría se caracteriza por la abundancia de suelos que cubren la mayor parte del área inmediata al cauce actual. El sustrato pétreo es bastante homogéneo, sobre todo en la margen izquierda de la ría, por la que se desarrolla el colector principal, y está constituido por arcillas y margas de tonalidad rojiza atribuibles al Permotrias; con carácter más restringido –solo en la zona meridional y en la margen derecha– se encuentran calizas dolomíticas y conglomerados del Jurásico.

Recubrimiento superficial

Se diferencian tres tipos de depósitos, bien diferenciados genéticamente: de ría, fluviales (aluviones) y de tipo residual (eluviones).

Depósitos de ría

Están constituidos esencialmente por arenas y arenas arcillosas (con contenidos variables en materia orgánica) dispuestos en horizontes de notable potencia, entre los que se intercalan gravas y arenas, con irregular distribución. Asimismo se encuentran lentejones turbosos y de algas, relacionados con antiguas



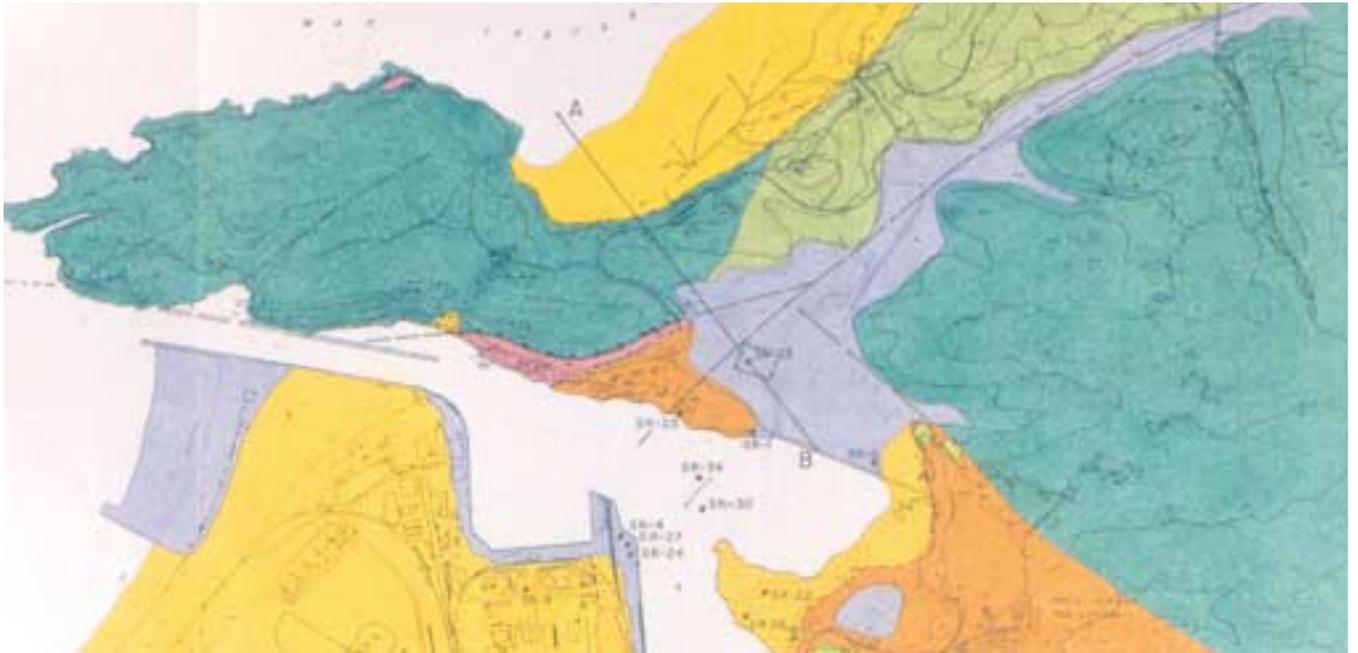


Fig. 3. Esquema geológico de la zona norte de la ría de Avilés, con la situación de los sondeos.
Leyenda: recubrimiento superficial (amarillo: Holoceno; azul: rellenos antrópicos) y sustrato rocoso (verdes: Paleozoico; violeta: Permotrias).

zonas de marismas. El espesor de este conjunto de sedimentos fluctúa a lo largo del eje de la ría, presentando un mínimo en la zona de cabecera (10-12 m) y un máximo (30 m) en el área de la desembocadura (Fig. 3).

El contacto de estas acumulaciones con el sustrato rocoso infrayacente es de tipo discordante y se caracteriza por frecuentes cambios de facies, tanto lateralmente como en profundidad. Constituyen una unidad hidrogeológica caracterizada por su elevada permeabilidad, lo que unido a su contacto directo con el cauce actual de la ría hace de esta unidad un importante reservorio de aguas subálveas, prácticamente saturado.

El comportamiento geotécnico de estos suelos está marcado por su elevada permeabilidad y grado de saturación, la baja capacidad portante y el carácter negativo de la presencia de materia orgánica, sobre todo en los lentejones de turba y algas.

Depósitos fluviales (aluviones)

Se corresponden con los cauces de los ríos Arlós y Magdalena en el dominio sur de la ría. Están constituidos esencialmente por mezclas de gravas y arenas, en las que se intercalan limos arcillosos de irregular distribución, siendo frecuentes los cambios espaciales en la composición. Presentan una potencia comprendida entre cuatro y nueve metros.

Estos sedimentos se caracterizan por su elevada permeabilidad, lo que propicia importantes acumulaciones de aguas subálveas. Desde el punto de vista geotécnico, se caracterizan por ser materiales no cohesivos, con elevada permeabilidad y saturación en profundidad, así como por una reducida capacidad portante.

Depósitos arcillosos residuales (eluviones)

Se ubican en la zona más meridional, colindante con la zona de ría. Son acumulaciones de arcillas –localmente limosas– de tonalidad pardo-amarillenta y con frecuentes tinciones ferruginosas. En la parte basal se encuentran fragmentos carbonatados angulosos englobados en la matriz arcillosa. Su génesis está relacionada con fenómenos de alteración de tipo residual fosilizando el paleorrelieve desarrollado sobre las calizas dolomíticas jurásicas. La potencia es muy variable, oscilando entre máximos del orden de los siete metros y mínimos en los que no supera los 0,2 metros.

El carácter geotécnico viene definido por su naturaleza arcillosa, dotada de una plasticidad media, son prácticamente impermeables y de reducida capacidad portante, susceptible de creación de asientos diferenciales en relación con la irregularidad del depósito.

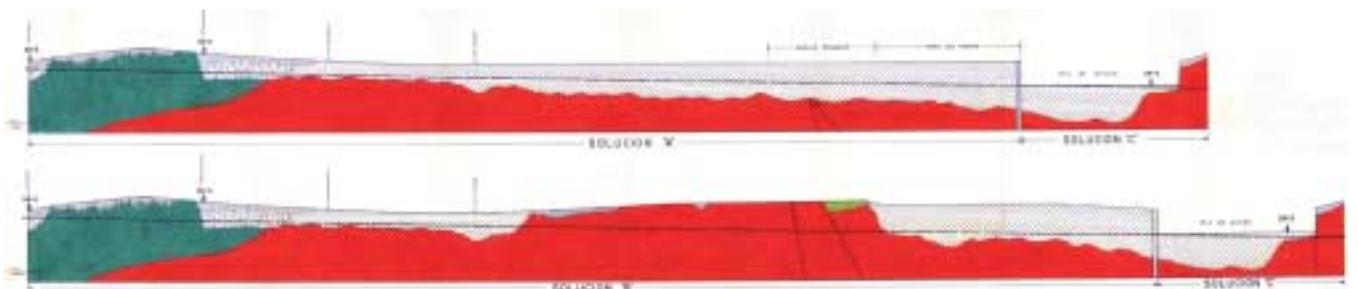


Fig. 4. Cortes geológicos de las soluciones alternativas estudiadas.
Leyenda: sustrato rocoso (rojo: Permotrias; verdes: Jurásico) y recubrimiento superficial (blanco con símbolos).

Sustrato rocoso

En la franja occidental de la ría, afectada por el colector interceptor general, el subsuelo pétreo se caracteriza por su homogeneidad, dado que el 90 % del trazado es coincidente con sedimentos margo-arcillosos, correspondientes al Permo-trías; únicamente en el tramo más meridional –en el kilómetro inicial, entre las conexiones con los colectores de los ríos Arlós y Magdalena– la rasante secciona el nivel carbonatado jurásico (Fig. 4). Por el contrario, en la franja oriental dominan calizas y conglomerados jurásicos.

Unidad margo-arcillosa

Está formada por niveles arcillosos rojizos, localmente de tonos verdosos y grisáceos, con estructura pizarrosa, y margas de análogas tonalidades; ambos materiales presentan una irregular distribución, con cierto predominio de los de naturaleza arcillosa. Con carácter más restringido, cabe reseñar la presencia de intercalaciones de areniscas y arenas micáceas de tonos pardo-rojizos, y en el tramo superior, especialmente en los niveles de tránsito a la unidad calcárea jurásica suprayacente, se detecta la presencia de yesos blanquecinos y grisáceos con morfología muy diversa (hiladas, granular o lentejonar).

Dado su contenido arcilloso, se trata de una unidad poco permeable, siendo de destacar que en las zonas en contacto con el agua superficial aumenta considerablemente su plasticidad y deformabilidad.

Las características geotécnicas de estos materiales están muy condicionadas por su composición mineralógica (illita, montmorillonita y minerales arcillosos interestratificados), que los hace muy sensibles al agua. La presencia de yesos puntuales representa una agresividad potencial a efectos constructivos. La ejecución de excavaciones subterráneas en estas litologías puede verificarse con medios mecánicos de potencia media, requiriéndose un sostenimiento rápido dada su tendencia a deformaciones, en el conjunto de la excavación, por la pérdida de sección debida a fenómenos de extrusión y convergencia.

Unidad carbonatada

Comprende materiales calcáreo-dolomíticos (calizas, calizas dolomíticas y dolomías), bien banqueados y de tonalidades grisáceas claras, e intercalaciones de margas grisáceas o negruzcas, de espesores variables. El contacto inferior es concordante con los materiales de la unidad margo-arcillosa, mientras que el contacto superior en la zona afectada por el trazado es de carácter discordante con los depósitos fluviales y los arcillosos residuales.

A efectos hidrogeológicos, esta unidad puede ser considerada localmente impermeable, dada la presencia de niveles margosos intercalados que actúan como niveles base locales de las restringidas circulaciones fisurales que puedan existir en los paquetes carbonatados.

Desde el punto de vista geotécnico, se trata de materiales competentes, semi-impermeables, parcialmente escarificables y con una capacidad portante elevada en el caso de los niveles calcáreos y de media a baja en las intercalaciones margosas.

Unidad conglomerática

Se dispone sobre las calizas anteriores y constituye una formación detrítica conocida vulgarmente como “*pedra fabuda*”. Consta de conglomerados de matriz arenosa e intercalaciones areniscosas y lutíticas. Los cantos son mayoritariamente cuarcíticos (95%) junto a otros de naturaleza diversa (arenisca, pizarra, lidita), con centiles comprendidos entre 10 y 25 centímetros y valores moda de tres a seis centímetros.

Características estructurales

El sustrato se dispone subhorizontal (seudotabular), con buzamientos medios que oscilan habitualmente entre los 5° y 20°, configurando pliegues muy laxos. El accidente más importante es la falla de Ventaniella, fractura de carácter regional con una dirección aproximada NO-SE a la que se asocian sismos recientes; esta zona de fractura ha de ser atravesada cuando se construya el emisario submarino. Localmente, pueden aparecer otras fracturas de menor entidad.

El seccionamiento de las fallas previstas en el ámbito de afloramiento de la unidad margo-arcillosa no es esencialmente crítico, puesto que los materiales a ambos lados de la fractura son análogos, permitiendo una autocicatrización en función de su naturaleza arcillosa e impermeabilizante.

Estudio geotécnico del dominio de la ría de Avilés

Con base en datos geológicos y geotécnicos recopilados a partir de bibliografía existente (Torres Alonso, 1972, 1985 y 1986) y sobre distintas obras civiles ejecutadas anteriormente en las inmediaciones de la ría, se programó una amplia campaña de prospección y estudios de laboratorio, con una doble finalidad. Por una parte, precisar la distribución espacial en profundidad de las distintas unidades litológicas ya diferenciadas, y con carácter complementario, se pretendió caracterizar geotécnicamente las diferentes unidades litológicas mediante la determinación del conjunto de parámetros necesarios para el cálculo y diseño de las diferentes soluciones constructivas abordadas en los proyectos.

Campaña prospectiva del “interceptor general”

La campaña de prospección geotécnica de la ribera occidental de la ría de Avilés (Fig. 2) se ha desglosado en varios apartados, a saber:

Prospección geofísica

En el dominio marino de la ría se levantaron perfiles longitudinales y transversales de sismica de refracción –sobre embarcación–, dentro del área en la que integraban las diferentes opciones de paso inferior de la ría con destino a la estación depuradora; con carácter complementario, se efectuó un registro continuo con ecosonda y un penetrador de sedimentos. El objetivo fue precisar el contacto entre los depósitos cuaternarios de la ría y el sustrato rocoso.

En tierra se desestimó la realización de perfiles sísmicos a lo largo de la traza por los múltiples inconvenientes –en forma de interferencias– derivados de las diversas conducciones



enterradas, tráfico, ruidos, etc. Únicamente en la zona de implantación de la E.D.A.R., en el polígono de Maqua, se realizaron cuatro perfiles de sismica de refracción al objeto de definir con precisión los límites entre los rellenos superficiales, los depósitos de la ría y el sustrato rocoso, a fin de seleccionar el método de cimentación.

Pruebas penetrométricas

En la zona inmediata al canal de la ría se han realizado cinco pruebas penetrométricas empleando un "piezocono" (Figs. 5 y 6), variante de los penetrómetros estáticos que permite determinar: la resistencia a punta y a fuste de forma individualizada, la presión intersticial del agua y, de forma indirecta, la permeabilidad del terreno.

Las pruebas se distribuyeron en el tramo donde el trazo del colector alcanza las mayores profundidades antes de abordar el paso inferior de la ría, dado que es una zona inmersa en los depósitos de ría saturados por las aguas freáticas y donde se iba a perforar con un escudo.

Sondeos mecánicos

Se ejecutaron un total de 23 sondeos, con recuperación continua de testigos, a lo largo de los distintos trazados de las soluciones alternativas (A, B y C, en la figura 2). Con carácter



Figs. 5 y 6. Camión donde van montados los equipos de medida del piezocono. Detalle del piezocono.

CUADRO 1		
Características del polígono de Maqua (estación depuradora E.D.A.R.) (sondeo SR-23)		
Espesor	Profundidad (m)	Litología
Rellenos artificiales		
0,40 m	0,00-0,40	Depósitos antrópicos constituidos por materiales arcillosos rojizos
4,10 m	0,40-4,50	Escorias grisáceas
2,90 m	4,50-7,40	Fango gris oscuro, englobando cantos y fragmentos de ladrillos
Depósitos de ría		
0,60 m	7,40-8,00	Arenas grisáceas claras de grano fino a medio, con bioclastos
0,60 m	8,00-8,60	Arenas arcillosas de color gris oscuro, con bioclastos
6,40 m	8,60-15,0	Fango arenoso gris oscuro
3,20 m	15,0-18,2	Arena fina arcillosa, gris oscura
0,20 m	18,2-18,4	Arenas rojizas con gravillas rodadas
1,40 m	18,4-19,8	Arenas finas arcillosas rojizas
1,70 m	19,8-21,5	Fango arenoso pardo-amarillento, con gravillas aisladas
0,70 m	21,5-22,2	Fangos rojizos
Sustrato rocoso		
13,8 m	22,2-36,0	Lutitas rojizas con moteado verdoso (Permotrias)

complementario se verificaron otros cinco sondeos en la propia ría –emplazados sobre una balsa– al objeto de definir las posibles zonas del paso inferior de la misma.

El conjunto de los sondeos efectuados han alcanzado profundidades del orden de 30 a 40 metros; se había previsto atravesar el recubrimiento (rellenos artificiales, suelos y depósitos de ría) y alcanzar el sustrato rocoso. En ellos se tomaron muestras inalteradas en suelos y testigos parafinados en roca.

A modo de ejemplo, se exponen en los cuadros 1, 2 y 3 las características litológicas de tres zonas representativas –véase su situación en la figura 2– a partir de los sondeos mecánicos realizados.

Durante la ejecución de los sondeos se ha procedido a la realización de las siguientes pruebas in situ: S.P.T., pruebas con el presiómetro de Menard (curva de presión-deformación), medidas de permeabilidad de Lefranc (recubrimiento superficial) y de Lugeon (sustrato rocoso) en cada nivel atravesado. Finalmente, se instalaron piezómetros abiertos para medidas periódicas de las oscilaciones del nivel piezométrico.

Estudios de laboratorio

A partir del conjunto de las muestras obtenidas, se desarrolló un amplio programa de ensayos de laboratorio, consistente en la realización de:

CUADRO 2		
Características del muelle de Raíces (sondeo SR-24)		
Espesor	Profundidad (m)	Litología
Rellenos artificiales		
0,20 m	0,00-0,20	Pavimento del muelle
0,60 m	0,20-0,80	Depósitos antrópicos constituidos por cantos, gravillas y restos de M.O.
Depósitos de ría		
1,20 m	0,80-2,00	Arenas finas y limpias de tonos pardo-amarillentos
0,80 m	2,00-2,80	Arenas arcillosas pardo-grisáceas
4,40 m	2,80-7,20	Arenas finas limpias pardo-amarillentas
1,50 m	7,20-8,70	Arenas finas pardo-amarillentas, con conchas y fragmentos de ostreidos
2,50 m	8,70-11,2	Arenas pardo-grisáceas con zonas oscuras y cantos de cuarcita (<6 cm)
1,00 m	11,2-12,2	Arenas medias y gruesas amarillentas con cantos de cuarcita
1,40 m	12,2-13,6	Arenas medias a finas de tonos amarillentos y grisáceos
0,70 m	13,6-14,3	Arenas finas gris-amarillentas
4,90 m	14,3-19,2	Arenas fangosas con gravas y gravillas cuarcíticas pardo-amarillentas
1,30 m	19,2-20,5	Arenas fangosas pardo-amarillentas con gravas y gravillas cuarcíticas
1,60 m	20,5-22,1	Arena fina fangosa pardo-amarillenta
3,00 m	22,1-25,1	Fango plástico negro
3,80 m	22,1-25,9	Arena fangosa gris oscura, con cantos y gravillas en la base
Sustrato rocoso		
3,10 m	25,9-29,0	Lutitas rojizas, con abundante moteado verdoso y grisáceo (Permotrias)

CUADRO 3

Características de la propia ría de Avilés (sondeo SR-34)		
Espesor	Profundidad (m)	Litología
Depósitos de ría		
0,60 m	0,00-0,60	Cantos cuarcíticos subredondeados con una matriz arenosa
2,00 m	0,60-2,60	Fangos arenosos grisáceos, con gravas en el tramo basal
0,60 m	2,60-3,20	Arenas grises algo arcillosas
3,70 m	3,20-6,90	Fango arenoso gris oscuro, con tramos muy arenosos
2,60 m	6,90-9,50	Gravas y cantos de hasta 10 cm en una matriz arenosa grisácea
0,90 m	9,50-10,4	Arenas grises de grano fino a medio
5,50 m	10,4-15,9	Fango arenoso con gravillas rodadas pardo-rojizas
Sustrato rocoso		
0,80 m	15,9-16,7	Lutitas pardo-rojizas y verdosas (Permotrias)
3,50 m	16,7-20,2	Lutitas rojizas, con moteado verdoso
1,10 m	20,2-21,3	Lutitas verdosas y rojizas
12,7 m	21,3-34,0	Lutitas rojizas con zonas de moteado verdoso

- Ensayos de Identificación o Propiedades índice.
- Ensayos de medida del comportamiento tenso-deformacional, incluyendo las siguientes pruebas: Vane Test en el laboratorio, Edométrico con siete escalones de carga, Compresión Simple sobre roca, Compresión Simple con medida de deformaciones mediante bandas extensométricas, y ensayos de Carga Puntual ("Point Load Test").

Campaña prospectiva del "colector interceptor industrial"

La campaña de prospección de la ribera oriental de la ría de Avilés (Fig. 2) ha sido mucho más restringida, dado que su trazado es más superficial y además se contaba con una amplia información previa (más de 200 sondeos e innumerables ensayos de muestras) procedente de estudios realizados en distintas épocas por diversas empresas ubicadas en el entorno.

Calicatas y sondeos mecánicos

La campaña consistió en la ejecución de 18 calicatas y 25 sondeos mecánicos con profundidades que oscilaron entre los siete y 17 metros. Los resultados de la misma se han sintetizado en columnas litológicas representativas de las zonas del trazado (Cuadros 4, 5 y 6).

Estudios de laboratorio

Se han concretado en la realización de los siguientes ensayos:

- Ensayos de Identificación: Propiedades índice.
- Ensayo de Compresión Simple.
- Ensayo Triaxial.

Una selección de los resultados obtenidos se muestra en los cuadros 7 y 8.

CUADRO 4

Columna litológica representativa de la zona de las marismas de Maqua	
Materiales	Espesor (m)
Depósitos antrópicos	
Arenas y materiales carbonosos negruzcos (Rellenos artificiales)	0,00-2,80
Depósitos de ría (Holoceno)	
Arenas amarillentas y grises, cantos cuarcíticos y fangos	23,00-26,80
Nivel de conglomerados (Jurásico)	
Conglomerado de cantos cuarcíticos y matriz arenosa	0,00->13
Permotrias	
Margas y lutitas rojizas y verdosas	>7,20

(Datos procedentes de 24 sondeos)

CUADRO 5

Columna litológica representativa de la zona de Arcelor	
Materiales	Espesor (m)
Depósitos antrópicos	
Escorias, bolos, arcillas y arenas (Rellenos artificiales)	0,00-6,80
Suelo vegetal	
Arcillas oscuras (Tierra vegetal)	0,00-0,50
Depósitos de ría (Holoceno)	
Arenas, arcillas arenosas y limos grisáceos y amarillentos (Fango)	0,50-13,00
Cantos cuarcíticos con arenas (Grijo)	0,00-8,20
Jurásico	
Calizas y dolomías con intercalaciones arcillosas grises	0,00-3,40
Permotrias	
Margas y lutitas grises, rojizas y verdosas. Niveles yesíferos	> 48,00

(Datos procedentes de 64 sondeos)

CUADRO 6

Columna litológica representativa de la zona del río Tabaza (al este de Arcelor)	
Materiales	Espesor (m)
Suelo vegetal	
Arcillas oscuras (Tierra vegetal)	0,00-0,60
Depósitos antrópicos	
Escorias, bolos, arcillas y arenas (Rellenos artificiales)	0,00-13,20
Aluviación (Holoceno)	
Arcillas, más o menos arenosas, grises y/o amarillentas	0,00-2,70
Arenas y arcillas blanco-grisáceas con cantos rodados	0,00-3,40
Eluviación (Holoceno)	
Margas arcillosas y arcillas rojizas (Roca alterada)	0,00-1,65
Jurásico	
Calizas y calizas dolomíticas grises con intercalaciones arcillosas grises	0,00- > 11
Permotrias	
Areniscas micáceas blanquecinas	0,00-3,30
Margas arcillosas rojizas y verdosas con yesos. A veces, areniscas grises	0,00- > 21,00

(Datos procedentes de 28 sondeos)



CUADRO 7									
Ensayos geotécnicos sobre muestras alteradas procedentes de calicatas									
Calicata	C-9	C-9	C-11	C-12	C-14	C-14	C-17	C-17	C-18
Profundidad (m)	1,40	2,50	4,20	2,00	3,10	4,50	3,00	4,10	1,80
Material	Limos arenosos	Gravas limoaren.	Arenas limosas	Arenas	Limos arenosos	Arenas limosas	Limos arenosos	Limos	Limos arenosos
Unidad litológica	Aluvión	Aluvión	Depósito marisma	Depósito de ría	Depósito de ría	Depósito de ría	Permotrias	Permotrias	Depósito marisma
Grava (%)	0	24	0	0	0	4	0	0	0
Gravilla (%)	0	52	9	0	1	19	3	0	0
Arena (%)	19	11	48	81	36	50	46	4	47
Finos (%)	81	13	43	9	63	27	51	96	53
Límite líquido	67	NP	NP	NP	NP	NP	NP	67	NP
Límite plástico	34	NP	NP	NP	NP	NP	NP	35	NP
Índice de plasticidad	33	NP	NP	NP	NP	NP	NP	32	NP
Contenido en M.O. (%)	0,15	0,25	1,90	0,10	0,30	0,10	0,45	0,25	0,45
Contenido en sulfatos (SO ₄ ²⁻)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Clasificación S.U.C.S.	MH	GM	SM	SP	ML	SM	ML	MH	ML
Clasificación A.A.S.H.O.	A-7-5	A-1-a	A-4	A-3	A-4	A-2-4	A-4	A-7-5	A-4

CUADRO 8								
Ensayos geotécnicos sobre muestras inalteradas procedentes de sondeos								
Sondeo	S-6	S-8	S-10	S-11	S-14	S-14	S-14	S-24
Profundidad (m)	5,00-5,60	6,00-6,60	8,60-9,00	6,45-6,95	7,90-8,20	9,40-9,72	13,2-13,42	6,00-6,60
Tipo de muestra	Inalterada	Inalterada	Inalterada	Inalterada	Testigo	Testigo	Testigo	Inalterada
Material	Gravas arcillosas	Arcillas arenosas	Limos arcillosos	Arcillas arenosas	Dolomías	Dolomías	Dolomías	Arenas limosas
Unidad litológica	Aluvión	Aluvión	Depósito marisma	Jurásico?	Jurásico	Jurásico	Jurásico	Depósito de ría
Grava (%)	38	0	0	0	—	—	—	0
Gravilla (%)	17	4	3	8	—	—	—	9
Arena (%)	26	26	7	45	—	—	—	78
Finos (%)	19	70	90	47	—	—	—	13
Límite líquido	22	36	53	31	—	—	—	NP
Límite plástico	14	20	27	21	—	—	—	NP
Índice de plasticidad	8	16	26	10	—	—	—	NP
Compresión simple (kp/cm ²)	0,2	3,4	1,5	3,6	280	344	344	0,1
Corte Directo c (kg/cm ²)	1,18	1,13	0,94	0,99	—	—	—	0,19
Corte Directo ϕ	18°	23°	16°	41°	—	—	—	43°
Clasificación S.U.C.S.	GC	CL	MH	SC	—	—	—	SM
Clasificación A.A.S.H.O.	A-2-4	A-6	A-7-6	A-4	—	—	—	A-3

En el cuadro 7 se representan, de forma sintética, y a título de ejemplo, los resultados de los análisis y ensayos realizados sobre nueve muestras alteradas obtenidas en las calicatas.

El cuadro 8 recoge un resumen de los resultados de los análisis y ensayos realizados sobre muestras inalteradas obtenidas en los sondeos. El número de muestras ensayadas en esta campaña fue sensiblemente más reducido que el programado inicialmente, debido a la notable dificultad de obtener muestras apropiadas.

Soluciones constructivas

En función de la documentación obtenida en las distintas fases de los estudios geológicos y geotécnicos, se han analizado las posibles soluciones alternativas para abordar las construcciones programadas, y en el caso concreto de la ejecución del "interceptor general" (margen izquierda de la ría) y de la estación depuradora (E.D.A.R.), las decisiones constructivas adoptadas han sido:

- En el primer tramo del trazado, entre los interceptores de los ríos Arlós y Magdalena, se optó por la ejecución de una zanja abierta en el tramo de las calizas dolomíticas y parcialmente entibada en la montera de rellenos artificiales y depósitos fluviales.
- El tramo intermedio, entre los interceptores de los ríos Magdalena y Tuluergo, se realizó mediante la hincada de tubos en la perforación realizada con una microtuneladora provista de rascadores como elemento de excavación.
- El tramo final, entre el interceptor del río Tuluergo y la E.D.A.R., se llevó a cabo mediante la utilización de un escudo tipo E.P.B. (Earth Pressure Balance), como modalidad más apropiada para seccionar los depósitos detríticos saturados de la ría y el sustrato margo-arcilloso permotriásico. Los pozos de entrada (pozo de bombeo) y salida del escudo se ejecutaron mediante la creación de muros pantalla, con sección poligonal, complementados con pantallas blandas –en puntos singulares– utilizando la técnica de "Jet Grouting".
- La construcción de la *estación depuradora* (Fig. 7) requirió una especial atención a efectos de cimentación, dada la precariedad de los terrenos del asentamiento y su casi nula capacidad portante (con rellenos semi-compactados procedentes de materiales de desechos, depósitos incoherentes de marisma, nivel freático muy superficial y un importante



Fig. 7. Planta depuradora (E.D.A.R.) construida en el polígono de Maqua.*

- accidente tectónico con un hipotético riesgo sísmico). De las dos alternativas de cimentación barajadas, consolidación dinámica o pilotaje, se optó por esta última bajo la modalidad de hincada de pilotes de hormigón prefabricados, de base cuadrangular y de más de 20 metros de longitud, con la finalidad de conseguir una compactación complementaria del terreno hasta alcanzar el sustrato rocoso.
- Queda aún pendiente de ejecución un *emisario submarino* que, en gran parte, se podría abordar con la técnica de hincada de tubos y el seccionamiento del macizo rocoso competente mediante métodos tradicionales de excavación en roca.
- La futura ejecución de la obra del "colector interceptor industrial" (margen derecha de la ría) representa una labor más sencilla, teniendo en cuenta su menor profundidad y complejidad. Está prevista su ejecución mediante zanjas entibadas o tubería hincada, según se trate de zonas en roca o en depósitos sueltos del Holoceno. □

Miguel Torres Alonso y Manuel Gutiérrez Claverol
Geólogos
Departamento de Geología
Universidad de Oviedo

* Fue proyectada y realizada por una UTE conformada por Coprosa y Pridesa.

Bibliografía

- Sáenz de Santa María, José Antonio, Torres Alonso, Miguel, Gutiérrez Claverol, Manuel y García García, Manuel, *Guía de buenas prácticas geotécnicas en la edificación*, ed. Fecea, 2004, 128 pp.
- Pello, Jesús, Corrales, Inmaculada y Torres Alonso, Miguel, "Estudio geológico del dominio de la ría de Avilés", Iberinsa, 1992-93 (Estudio de asistencia técnica).
- Torres Alonso, Miguel y Gutiérrez Claverol, Manuel, "Estudio geotécnico del proyecto del colector para aguas residuales de la ría de Avilés", Idom, 2000 (Estudio de asistencia técnica).

- Torres Alonso, Miguel, "Resumen del estudio geotécnico general de la zona central de Asturias", *Bol. Inst. Geol. Min. España*, nº 83 (6), 1972, pp. 631-636.
- Torres Alonso, Miguel, "Características geológico-geotécnicas de los materiales margo-arcillosos de la facies Keuper en Asturias", *Bol. Ciencias Natur. (IDEA)*, nº 35, 1985, pp. 129-153.
- Torres Alonso, Miguel, "Características geológico-geotécnicas de los depósitos arcillosos y granulares en la zona de Avilés (Asturias)", *Bol. Ciencias Natur. (IDEA)*, nº 37-38, 1986, pp. 107-122.

