

IGP

20 años informando
Ingeopres

Ingeniería civil, hidráulica, urbana, geológico-minera y medioambiental

especial
200
ene-feb '11

Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Geotermia



Industrias Juferma, S.A.

Materiales para sondeos

CORONAS DE DIAMANTE

PENETRÓMETRO

MEDIDORES DE NIVEL DE AGUA

TOMA-MUESTRAS

TUBERÍA DE ALUMINIO PARA INCLINÓMETRO

Obturadores

Toma-muestras

LODOS DE PERFORACIÓN

MATERIAL DE SALVAMENTO

CAJAS PORTA-TESTIGOS

Coronas de Metal Duro

TUBOS TESTIGO

BOMBAS DE INYECCIÓN DE CEMENTO

TECSO

MATERIAL DE SONDEOS

OBTURADORES

CABEZAS DE INYECCIÓN

Cabezas de Inyección

Bombas de inyección de cemento

Tubos Testigo

penetrómetro

CARBOTEC
ARCOS DE ELEVACIÓN

Coronas de Diamante

CORONAS DE METAL DURO

C/ Carpinteros 4 - 28500 Arganda del Rey (Madrid) ESPAÑA

Tfno.: +34 918 701 547 - Fax: +34 918 714 169

E-mail: comercial@tecso-sa.com - Web: www.tecso.es



TECSO, S.A.

Estabilización con membranas SPIDER® NET de altas prestaciones

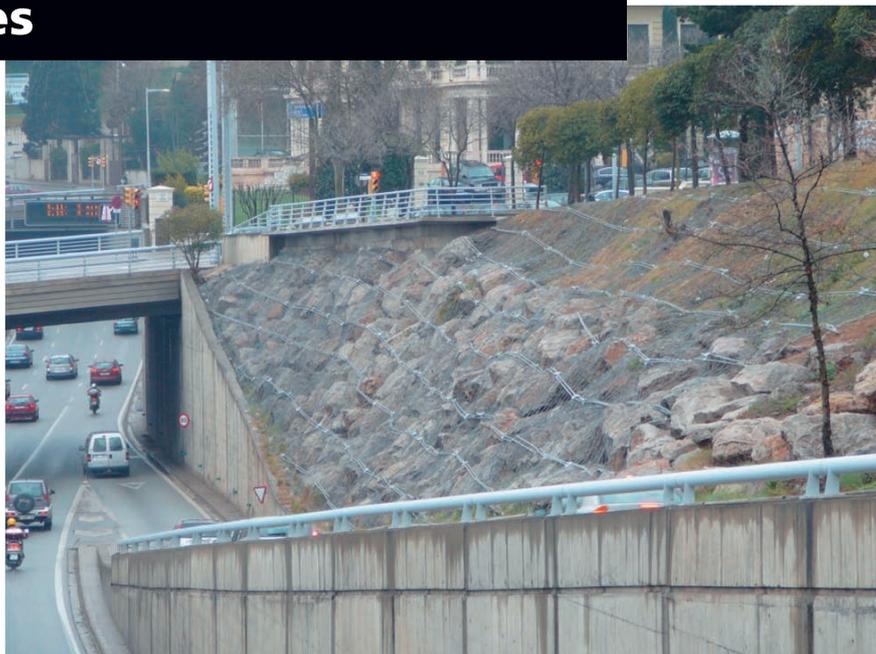
El nuevo sistema de estabilización SPIDER® Net permite alcanzar valores de soporte de hasta 140kN/m^2 . Está compuesto por una potente membrana de acero de alto límite elástico, cuya resistencia a tracción directa supera los 360kN/m .

La composición del trenzado con 3 alambres de 4mm ultracoating®, la hace extremadamente resistente a esfuerzos de tracción y a la corrosión.

Su campo de aplicación se enmarca dentro de la más alta gama de sistemas de estabilización Geobrugg, entre 40kN/m^2 y 140kN/m^2 , con factor de seguridad para soluciones permanentes (1,67). El empleo puede ser activo o pasivo, en función del sistema de anclajes que se utilice.

Para su colocación se debe emplear barras de acero 500-550MPa, a partir de 40mm de diámetro, o barras 670-800MPa a partir de 35mm .

Aplicación relevante en la sujeción de bloques de rocas de grandes dimensiones, reparación de muros de escolleras o control de macro-grietas.



GEOBRUGG® 

Geobrugg Ibérica, SAU

Calle Gomera 8, 1º B.

28703 San Sebastián de los Reyes (Madrid)

Tel (+34) 916 592 830

fax (+34) 916 592 835

www.geobrugg.com

info@es.geobrugg.com



Núm. 200 - ENERO/FEBR. 2011

Edita: Entorno Gráfico, S.L.



Miembro de la Asociación Española de Editoriales de Publicaciones Periódicas



Editor - Director

Francisco Esquitino Martín
Lic. Ciencias Geológicas

Consejo de redacción

Asesores:
José Miguel Galera Fernández
Dr. Ing. de Minas
Felipe Mendaña Saavedra
Dr. Ing. de Caminos
Salvador Ordóñez Delgado
Dr. Ciencias Geológicas
Pedro Cifuentes Vega
Dr. Ing. de Montes

Colaboradores:

Claudio Álvarez Rodríguez
Dr. Ing. de Minas
Manuel Bustillo Revuelta
Dr. CC. Geológicas
Benjamin Celada Tamames
Dr. Ing. de Minas
Laureano Cornejo Álvarez
Ing. de Minas
Carlos Dinis Da Gama
Dr. Ing. de Minas
Eliás Moreno Tallón
Ing. de Caminos
Manuel Romana Ruiz
Dr. Ing. de Caminos
Juan Martínez Rubio
Lic. Ciencias Geológicas

Dpto. Informática:

Carlos Gancedo
GTM-IP

Dpto. de Redacción:

David Esquitino Rodríguez

Diseño y Maquetación:

Gráficas Arias Montano

Dpto. Comercial-Publicidad:

José Manuel López de Benito
Fernando Vázquez Sánchez

Suscripciones y Administración:

Virginia Huélamo Magro
P.I. Las Nieves. C/ Plasencia, 1-17, nave 29
E-28935 MÓSTOLES (Madrid)
Tel.: 91 616 95 20* - Fax: 91 616 97 88
E-Mail: ingepres@entornografico.com
Web: www.ingepres.com

Precio de este ejemplar: 12 €€

SUSCRIPCIÓN ANUAL (12 números)

- España: 120 € (IVA Incl.)
- Resto de Europa: 158 €
- Otros países: 183 €€

Impresión y Fotomecánica:

Gráficas Arias Montano, S.A.

Depósito Legal: M -9855-1992

ISSN 1136-4785



En portada

Con más de 30 años de experiencia en el diseño y fabricación de piezas y componentes de material para sondeos; la reciente ampliación de la compañía y un nuevo centro de producción con tecnología innovadora; así como la incorporación de coronas de diamante **Juferma Series® Geotec** a su gama de productos; convierten a **Industrias Juferma** en un proveedor global y de calidad en el sector de la perforación.

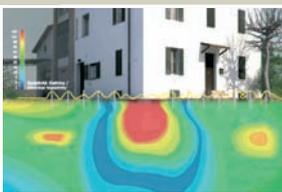
Información:

INDUSTRIAS JUFERMA, S.A.

P.I. Los Calahorros IV • C/ Adefa, 17 - 19
28970 Humanes de Madrid (Madrid)

Tel.: (34) 916 904 378 • Fax (34) 916 062 013

E-mail: comercial@juferma.com • Web: www.juferma.com



AGENDA	6
EDITORIAL	
■ Ingeopres: 200 , veinte años informando	7
ACTUALIDAD TÉCNICA	8
CIMENTACIÓN	
■ XI Jornada Técnica SEMSIG-AETESS sobre Tratamientos en Túneles y Galerías	16
■ Ejecución de las cimentaciones de la estación Mercat para la Línea T2 del Metro de Valencia	22
■ Comparativa entre diferentes tecnologías de fluidos poliméricos utilizados en la estabilización de pilotes y pantallas	26
GEOTECNIA	
■ Utilización de equipos de alto rendimiento para la recepción de explanadas	30
ESTABILIZACIÓN	
■ Efecto negativo del empleo de redes ASM de anillos de alambre de acero en la estabilización de taludes	36
■ Tratamiento y estabilización de los taludes originados por la excavación para alojar una gran nave industrial	40
■ Integración paisajística de talud en la Autovía A-67	46
■ Muros combinados Tresma® Verde-Tresma® Gavión en grandes infraestructuras viarias	52
GEOFÍSICA	
■ La Tomografía de la resistividad eléctrica en consolidaciones con resinas expansivas	56
■ Diagnóstico y análisis del revestimiento de túneles de mampostería mediante técnicas no destructivas	64
GUNITADO	
■ Tecnología Sika en la Variante de Ferreries (Menorca)	68
GEOTERMIA	
■ Sistema geotérmico de alta eficiencia energética en el edificio polivalente de la UAH	71
■ Utilización del recurso geotérmico para la climatización con losas termoactivas y el pretratamiento del aire de renovación	74
■ Integración del sistema de intercambio geotérmico en la estructura de los aparcamientos subterráneos	82
■ Nueva gama de perforadoras Comacchio para geotermia	88
■ Demostración de la perforadora para geotermia Fraste XL DR	92
■ Climatización mediante el intercambio de energía con las aguas residuales de las infraestructuras urbanas	94
■ Experiencias prácticas relativas al análisis del TRG	98
■ Pilotes energéticos Raugeo PE-XA	103
NUEVOS PRODUCTOS	104
DIRECTORIO	109

NUEVAS EXCAVADORAS DE CADENAS CAT® A la medida



Caterpillar dispone de la gama más completa de Excavadoras Hidráulicas.

Más de 30 modelos diferentes, desde 1,8 hasta 90 toneladas de masa, capaces de ofrecer los mayores índices de rentabilidad.

Nuevos modelos. Para ajustar su gama aún más a las necesidades específicas de sus clientes, lanza al mercado dos nuevos modelos. La **329D**, de 207 hp de potencia y 29 toneladas, y la **336D** con 270 hp y 36 toneladas.

Ambos modelos gozan de la más alta tecnología para mejorar en prestaciones, duración y confort a sus predecesoras 325 y 330.

901 13 00 13
www.barloworld.finanzauto.es


Compromiso de Continuidad

 **Barloworld
Finanzauto** 

agenda

■ GLOBALGEO 2011

[15 - 17 Marzo 2011]

Salón Internacional de la Geoinformación
(9ª Semana Geomática Internacional).
Feria de Barcelona (España).

Información: Fira de BARCELONA.

Avda. Reina Cristina, s/n

08004 Barcelona

Tel.: 932 332 089

Fax: 932 333 546

E-mail: mgarciad@firabcn.es

Web: www.gobalgeobcn.com

■ VYODEAL 2011

[21 - 25 marzo 2011]

XXI Simposio Nacional de Vías y Obras de
Administración Local.

Ibiza (Balears).

Información: AEC - Asoc. Esp. Carretera.

Goya,23 - 4ºD • 280001 Madrid

Tel.: 915 779 972

Fax: 915 766 522

E-mail: congresos@aecarretera.com

Web: www.aecarretera.com

■ CONEXPO-2011

[22 - 26 marzo 2011]

Feria Internacional de Maquinaria de
Construcción

Las Vegas, Nevada (EEUU).

Información: CONEXPO - CON/AGG.

6737 W. Washington Street, Suite 2400
Milwaukee, WI 53214 - 5647 (EEUU)

Tel.: (800) 867 - 6060

E-mail: info@conexpoconagg.com

Web: www.conexpoconagg.com

■ CONURBI'11

[23 - 25 marzo 2011]

II Congreso de Urbanismo y
Ordenación del Territorio,
A Coruña (España).

Información: Colegio de ICCyP.

Almagro, 42 - 4ª Plta.

28010 Madrid

Tel.: 917 006 441 • Fax: 913 199 556

E-mail: conurbi@ciccp.es

Web: www.conurbi.es

■ SMOPYC 2011

[5 - 9 abril 2011]

XV Salón Internacional de Maquinaria
para Obras Públicas, Construcción y Minería.
Zaragoza (España)

Información: Feria de Zaragoza

Ctra. A-2, km 311.

50012 Zaragoza

Tel.: 976 764 700 • Fax: 976 330 649

E-mail: info@feriazaragoza.com

Web: www.feriazaragoza.com/smopyc

■ ANEIEX 2011

[7 abril 2011]

I Jornada de ANEIEX sobre Destrucción
de Explosivos y Polvorines de Consumo.
Madrid - Hotel HUSA Chamartín

Información: ANEIEX (Asociación Nacional
de Ingenieros de Explosivos).

Franco Rodríguez, 64 • 28039 Madrid

Tel.: 914 598 577

Fax: 914 598 371

E-mail: aneix@aneix.org

Web: www.aneix.org

■ TC28 IS ROMA-2011

[16 - 18 mayo 2011]

VII Simposio Internacional sobre Aspectos
Geotécnicos de la Construcción Subterránea
en Suelos Blandos. TC28 de la ISSMGE
Roma (Italia).

Información: AGI - Assoc. Geot. Italiana.

Attn.: Dr. Ing. Claudio Soccodato

Viale dell'Università, 11 • 00185 Roma (Italia)

Tel.: +39 064465569 • Fax: +39 0644361035

E-mail: info@tc28-roma.org

Web: www.tc28-roma.org

■ EXPOMATEC 2011

[17 - 21 mayo 2011]

Exposición sobre Infraestructuras,
Maquinaria de Obra Pública y Minería.
Palacio Ferial de Ifema.

Madrid (España).

Información: Ifema. 28042 Madrid

Tel.: 917 225 095 • Fax: 917 225 793

E-mail: expomatec@ifema.es

Web: www.expomatec.ifema.es

■ WTC 11 - TÚNELES

[21 - 26 Mayo 2011]

Congreso Mundial de Túneles 2011 y
37 Asamblea General de la ITA-AITES.
Helsinki (Finlandia)

Información: RIL - Asociación. Finlandesa de
Ingenieros Civiles

Töölönkatu, 4 • 00100 Helsinki (Finlandia)

Tel.: +358 207 120 613

Fax: +358 207 120 619

E-mail: ville.raasakka@ril.fi

Web: www.wtc11.org

■ QUÍMICA DEL CEMENTO 2011

[3 - 8 julio 2011]

XIII Congreso Internacional de la Química
del Cemento (ICCC)

Palacio de Congresos de Madrid (España)

Información: Instituto de Ciencias de la
Construcción Eduardo Torroja-CSIC.

Mª del Mar Alonso

Serrano Galvache, 4. 28033 Madrid

Tel.: 914 574 891 • Fax: 914 581 088

E-mail: info13iccc@ietcc.csic.es

Web: www.icccmadrid2011.org

■ ASFALTO CILA 2011

[20 - 25 noviembre 2011]

XVI Congreso Ibero-Latinoamericano
del Asfalto (CILA).

Río de Janeiro (Brasil).

Información: AEC - Asoc. Esp. Carretera.

Goya,23 - 4ºD • 280001 Madrid

Tel.: 915 779 972

Fax: 915 766 522

E-mail: nugalde@aecarretera.com

Web: www.aecarretera.com

■ TIAC 12

[24 - 26 abril 2012]

IV Congreso Internacional sobre Tecnología
de la Intrusión de Agua de Mar en
Acuíferos Costeros. Alicante (España).

Información: IGME (Secretaría Congreso).

Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid

Tel.: 913 495 700 • Fax: 914 426 216

E-mail: igme@igme.es

Web: www.igme.es



Este número **200** de la revista **Ingeopres** constituye un hito importante en la historia reciente de la ingeniería civil de nuestro país, pues ha sido en los últimos veinte años cuando con la incorporación a la Unión Europea se ha producido una profunda renovación de las infraestructuras obsoletas por otras más modernas, funcionales y extensas. Basta recordar la amplia red de autopistas y autovías, líneas del AVE, ampliaciones de la red de Metros, túneles urbanos, etc.

Ingeopres 200: veinte años informando

En este contexto, el terreno es uno de los elementos más importantes en la práctica de la ingeniería civil formando parte de la estructura, aunque más complicado debido a la naturaleza y al origen geológico. De forma análoga sucede en el sector extractivo, donde en un yacimiento se debe deconstruir o extraer el mineral albergado manteniendo una estructura estable y en condiciones de seguridad.

El conocimiento físico-mecánico detallado del terreno es, en ambos casos, uno de los elementos necesarios en los proyectos constructivos (desde las cimentaciones de pequeños edificios hasta las grandes obras de infraestructura –túneles, presas, viaductos, etc.-) como en los proyectos mineros (a cielo abierto o subterráneos), con el fin de mitigar las incertidumbres que la propia naturaleza geológica impone.

Simultáneamente con el desarrollo de las diferentes disciplinas que abarca la Ingeniería del Terreno, han surgido nuevas titulaciones académicas, que han venido a llenar unos vacíos profesionales demandados por el mundo empresarial.

A lo largo de todos estos años **Ingeopres** no sólo ha sido un testigo de primera línea de todos los avances experimentados, sino incluso en un elemento o herramienta de divulgación de aquellas tecnologías emergentes que han ido permitiendo afianzar el conocimiento de las características de los diferentes tipos de materiales; las técnicas de mejora de los mismos mediante diversos tratamientos; los métodos constructivos y los procedimientos de estabilización; la maquinaria principal y auxiliar disponible; los nuevos sistemas de supervisión y control; etc.

Han sido muchos los progresos logrados durante estos años y buena prueba de ello son los **200 números** editados de **Ingeopres**, que recogen las numerosas aportaciones de especialistas de prestigio reconocido a nivel internacional, así como el palpito de los diversos sectores imbricados con la Ingeniería del Terreno (geología, geotecnia, cimentaciones, mejora del terreno, construcción civil, minería, etc.). En definitiva, **20 años informando**.

Deseamos que este medio de comunicación siga teniendo éxito, después de su etapa de consolidación en el mercado, y permita marcar las tendencias de futuro y sea un espejo de los éxitos logrados en un sector tan apasionante como lo es aquel que trata con materiales de origen geológico.

Carlos López Jimeno

Geotflash

El consumo de cemento cae un 15% durante 2010

El mercado español del cemento ha cerrado el ejercicio 2010 con un consumo total de 24,5 Mt según cifras facilitadas por *Oficemen*, la patronal del sector. Esto que supone un 15% menos con respecto a 2009, que concluyó con una cifra de 28,9 Mt. Por otra parte, la producción de cemento descendió casi un 12% hasta situarse en 26 Mt.

La producción de clínker, producto intermedio necesario para la fabricación de cemento, registró en 2010 un descenso del 3%, con 21 Mt producidas. Se exportaron cerca de 3,8 Mt, lo que supuso un crecimiento del 33%, mientras que las importaciones de cemento fueron casi 2 Mt reduciéndose en un 31% respecto a 2009

Ferrovial recibe en Irlanda el premio al Mejor Gran Constructor de 2010

Ferrovial, a través de su filial de construcción *Ferrovial Agroman*, ha recibido en Irlanda el galardón al *Mejor Gran Constructor del Año 2010* por su gran solidez y su extraordinaria actividad constructora en el país durante el presente ejercicio. El premio, conocido como *CMG Building and Design Awards 2010*, ha sido otorgado por el grupo de comunicación *Commercial Media Group (CMG)*. Este galardón reconoce el éxito en las profesiones de la construcción, la ingeniería y la arquitectura durante el año que hayan tenido un enfoque de mejores prácticas de diseño sostenible e innovación.

El jurado, formado por reconocidos ingenieros, arquitectos y empresarios del sector, ha valorado la capacidad de *Ferrovial Agroman* para gestionar y entregar proyectos complejos dentro del panorama de la ingeniería internacional. Durante 2010, la constructora ha puesto en marcha, con varios meses de antelación, las autopistas

M3, M1, M50 y A4, cuatro de las mayores proyectos de autopistas contratadas en los últimos años en los principales corredores de transporte de Irlanda.

OHL consolida su actividad constructora en EEUU

El grupo *OHL* ha entrado en el mercado de la construcción del Estado de Nueva York a través de su alianza, como socio estratégico, con la constructora neoyorquina *Judlau Contracting*. Esta operación consolida la actividad constructora de *OHL* en Estados Unidos y forma parte de la estrategia diseñada por la división de Construcción Internacional, que dirige *Francisco Marín*, para entrar en el mercado de Nueva York, donde a principios de este año abrió la sede de su Área Noroeste en EEUU.

La alianza se ha materializado mediante la adquisición, por *OHL USA*, del 50,1% del capital de *Judlau*, que se convierte así en la sexta constructora del grupo en Estados Unidos. La operación supone una inversión de 72,5 M\$, más un importe variable en función del EBITDA que genere la compañía neoyorquina en el cuatrienio 2009-2012. *Judlau Contracting* goza de un amplio y reconocido prestigio en la construcción de infraestructuras de obra civil (túneles, carreteras, puentes y metro) en el Estado de Nueva York, donde ha venido trabajando desde su creación hace 27 años. La compañía espera cerrar este año 2010 con una cifra de negocio de 300 M\$ y una cartera de 500 M\$.

Conexión del Corredor Mediterráneo con el AVE Madrid-Barcelona-FF

El Ministerio de Fomento ha adjudicado varios contratos para la construcción de la conexión del Corredor Mediterráneo con la línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona-Frontera Francesa

en Tarragona. El presupuesto conjunto de las adjudicaciones asciende a más de 205 M€. Las obras adjudicadas se enmarcan dentro de las actuaciones que está llevando a cabo el Ministerio para completar el enlace del Corredor Mediterráneo de Alta Velocidad con la Línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona y con la actual línea Reus-Tarragona, mediante sendos ramales de conexión. El enlace con esta última línea permitirá la conexión de la ciudad de Tarragona tanto con el Corredor Mediterráneo como con la Línea de Alta Velocidad Madrid-Barcelona.

FCC y OHL construirán la ampliación del Metro de Toronto (Canadá)

La *Toronto Transit Commission* ha adjudicado recientemente a *FCC Construcción*, en UTE con *OHL*, las obras de la ampliación del Metro de Toronto-York Spadina (Tysse) en Canadá, que incluye la construcción de los túneles Norte y de la estación Highway 407 y por un importe total de 304 M€. El proyecto consiste en la realización de un tramo subterráneo de 4.500 m de longitud, con tres estaciones intermedias: *York University Station*, *Steeles West Station* (no incluida en este contrato) y *Highway 407 Station*. Esta última es una estación subterránea de nueva construcción con 165 m de longitud, 22 de anchura y 23 m de profundidad; con andén central y tres niveles, dos subterráneos y uno en superficie, formado por un edificio en forma de Y, con una terminal de autobuses y un aparcamiento al aire libre de 600 plazas.

La obra se ejecutará mediante dos tuneladoras TBM en tres fases: la primera en dirección sur hasta el área de cocheras, con una longitud de 1.672 m, y la segunda y la tercera desde la estación *Highway 407*, desde donde se excavará en dos direcciones: hacia el sur hasta la estación *Steeles West*, un tramo de 1.024m, y hacia el norte hasta el final del trayecto, en una longitud total de 936m.

Chile: dos concursos de construcción y explotación de autopistas para Sacyr

Sacyr Vallehermoso (SyV) ha ganado en menos de 48 horas la puntuación técnica y económica de un concurso para la construcción, ampliación, mejora, conservación y explotación de una nueva autopista en Chile, concretamente, el proyecto *Alternativas de Acceso a Iquique*, con una longitud de 79 km y una inversión de 140 M€. Con anterioridad, *Sacyr Concesiones* también ganó con 270 M€ de inversión el concurso para la construcción y la explotación de la autopista *Concepcion-Cabrero* de 103 km y con una cartera de ingresos estimada de 792 millones.

Sacyr Concesiones suma ya 32 activos concesionales en seis países.

Acciona lidera la potencia termosolar del mundo

Acciona Energía ha puesto en marcha su planta solar termoeléctrica *Palma del Río II*, de 50 MW de potencia, lo que le convierte en la compañía con mayor potencia termosolar operativa en el mundo (214 MW distribuidos en tres plantas en España y una en EEUU).

Con una cuota de mercado mundial del 17%, *Acciona* se consolida como referencia global en una tecnología renovable para la que se prevén crecimientos muy destacados en las próximas décadas –91.000 MW acumulados en el año 2035, según el escenario central de la Agencia Internacional de la Energía (AIE)– frente a los casi 1.300 MW previstos al cierre de este año. La puesta en marcha de la planta refuerza asimismo la posición de la compañía en España, primer país del mundo en implantación termosolar, con 632 MW.

La central *Palma del Río II*, situada en el municipio cordobés del mismo nombre, ha supuesto una inversión de 251 M€

FERIAS Y CONGRESOS

ITA-AITES

Congreso Mundial de Túneles en Finlandia (wtc-11)

La Asociación Internacional de Túneles (ITA), junto con la asociación finlandesa (FTA) y la Asociación de Ingenieros Civiles (RIL) son los organizadores del próximo **Congreso Mundial de Túneles (wtc 11)**, que se celebrará en Helsinki, del 21 al 26 de mayo próximos, bajo el lema: *Espacios subterráneos al servicio de una sociedad sostenible*.

Junto con el congreso se celebrará –en el Centro de Exposiciones y Conferencias–, la 37 Asamblea General de ITA-ITAES y una exposición de maquinaria, materiales, y servicios para túneles.

El reciente auge en la excavación de túneles ya está en marcha también en Finlandia y se espera continúe en el futuro. Los espacios subterráneos son vistos como partes elementales de la infraestructura; los principales proyectos actuales en fase de ejecución son la ampliación hacia el oeste



del sistema de metro subterráneo y el enlace de tránsito aeroportuario. Finlandia está también investigando y desarrollando una instalación de almacenamiento final subterráneo de residuos nucleares, siendo uno de los pioneros a nivel mundial.

Los temas a tratar dentro del congreso se encuadran en los puntos siguientes:

- Planificación de la utilización de espacios subterráneos.
- Servicios municipales.
- Tecnologías operacionales.
- Tráfico y logística.
- Almacenamiento geológico de residuos nucleares.
- Energía renovable.
- Gestión de proyectos.

RIL-ASOCIAC. DE INGEN. CIVILES

Töölönkatu, 4
00100 Helsinki (Finlandia)
☎: +358 207 120 613
Fax: +358 207 120 619
E-mail: vile.raasakka@ril.fi
Web: www.wrc11.org.com

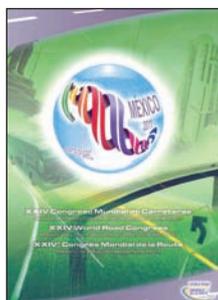


AIPCR

XXIV Congreso Mundial de Carreteras México 2011

La Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR/PIARC) celebra cada cuatro años, desde 1909, el **Congreso Mundial de Carreteras**, evento mediante el cual se invita a los profesionales de la carretera y el transporte a presentar y discutir ponencias entre los países miembros y como consecuencia a identificar, desarrollar y difundir soluciones responsables a los problemas de hoy.

En esta ocasión, el congreso se celebrará en la histórica Ciudad de México durante los días 26 al 30 de septiembre de 2011, bajo el lema: *Movilidad, Sostenibilidad y Desarrollo*, y organizado por la La Asociación Mundial de Carreteras (PIARC), la Asociación Mexicana de Ingenieros de Vías Terrestres (AMIVTAC), y el Gobierno mexicano a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT),



Los trabajos que tratará el Congreso estarán divididos en cuatro temas estratégicos:

- Sostenibilidad de los sistemas de transporte carretero.
- Mejora en el aprovisionamiento de servicios.
- Seguridad en los sistemas carreteros.
- Calidad de la infraestructura viaria.

El evento reunirá a más de 4.000 especialistas en carretera y transporte por carretera, representando a más de 100 países. Adicionalmente contará con una Exposición técnica de unos 12.000 m² de superficie.



AIPCR MÉXICO 2011
(Ing. Rodolfo Félix)
Camino Sta. Teresa, 187
14010 México D.F (México)
☎ +52 1 (55) 4359 8071
E-mail: rfelix@aipcrmaxico2011.org
Web: www.aipcrmaxico2011.org

ACHE

V Congreso Internacional de Estructuras



Entre el 25 y 27 de octubre de 2011 se celebrará en Barcelona el V Congreso Trienal de la Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural (ACHE), que tiene por objetivo servir de punto de encuentro y foro de debate a los técnicos relacionados con las estructuras. El propósito fundamental del Congreso es difundir el conocimiento e intercambiar las experiencias en el ámbito del hormigón y de la ingeniería estructural. El evento también intenta servir de nexo entre el campo profesional, el mundo académico y de la investigación, así como facilitar el intercambio de experiencias entre el sector de la obra civil.

Para ello, el V Congreso Trienal de ACHE pretende dar prioridad al debate en distintas modalidades de foros que faciliten la exposición pública de ideas y experiencias. Estas versarán sobre el ciclo completo de las obras, desde el proyecto hasta el mantenimiento y la eventual demolición, pasando por su construcción y control. Para impulsar la presencia de ingenieros y arquitectos jóvenes se convocarán concursos sobre aspectos relacionados con la tecnología y el diseño del hormigón estructural, dirigidos a estudiantes de últimos cursos de ingeniería y arquitectura, cuyos premios se entregarán durante la celebración del evento.



SECRETARIA ACHE y CONGRESO
E.T.S. I.C.C. y P.
Avda. Pof. Aranguren, s/n - Ciudad Univ.
28040 Madrid
☎: 913 366 698 • Fax: 913 336 702
E-mail: congresobarcelona@e-ache.com
Web: www.e-ache.com



NOMBRAMIENTOS

FdA

Sebastià Alegre nuevo presidente de la Federación de Áridos

Durante la celebración el pasado 16 de diciembre de la Asamblea General de la Federación de Áridos (FdA), el hasta ahora presidente de la misma, Manuel Hermoso Villalba, cedió el testigo del cargo que ha desempeñado en el último año a **Sebastià Alegre i Roselló**, del *Gremi d'Àrids* de Catalunya. Alegre mostró su satisfacción por la articulación actual del sector y añadió que nos encontramos en el momento de consolidar un sector fuerte que lidere nuestra travesía por la actual crisis económica. De igual modo expresó su ilusión por desarrollar las tareas que asumirá a partir de ahora.



En el que ha sido su último discurso como presidente de la FdA, Manuel Hermoso presentó un informe de gestión, repasando gran parte de las actividades realizadas por la organización durante su mandato. Hizo especial incidencia en la necesidad de divulgar la gran cantidad de trabajo realizado por la Federación ante la Administración Central y el ámbito europeo.

Scania

Ignacio Cortezón, nuevo jefe del Dpto. Comercial de Motores



Scania Ibérica ha reorganizado su equipo directivo y comercial con el fin de potenciar su estructura organizativa. Los nombramientos tienen efecto desde el día 1 de enero de 2011 y afectan a distintos departamentos.

Ignacio Cortezón Marqués ha sido nombrado Jefe del Dpto. Comercial de Motores de Scania Ibérica, cargo en el que sustituye a Pedro Amat Ballester que ocupará otro puesto dentro de la compañía. Ignacio es Ingeniero Técnico Industrial y Máster en Ingeniería de Vehículos Automóviles por el INSIA (UPM) y comenzó su carrera en Scania Hispania en el año 1999 como Responsable de homologaciones y asistencia a carroceros. Tres años más tarde asumió el puesto de Responsable de Producto para camiones y en el año 2006 asumió el puesto de Gerente de Área de Autobuses Urbanos, cargo que ha desempeñado hasta la fecha. Anteriormente, Ignacio Cortezón había trabajado como Técnico de tiempos y procesos en Audatex.



INGENIERÍA CIVIL

Ministerio de Fomento

Aprobación e información pública del trazado de la autovía Pontevedra-Vigo

El Ministerio de Fomento aprobó provisionalmente a mediados de enero y ha sometido a información pública todo el trazado de la nueva Autovía Pontevedra-Vigo. Dicha actuación se desarrolla en cuatro tramos: A Ermida-Vilaboia, tramo perteneciente a la circunvalación de Pontevedra (A-57) que se engloba en la futura autovía Pontevedra-Vigo; y los tramos Vilaboia-O Viso, O Viso-Arrufana, y Arrufana-Peinador /AP-9, pertenecientes a la Autovía A-59.

Esta nueva autovía, de 30 km de longitud, circunvalará Pontevedra por el este y será una nueva alternativa para los tráficos en el sur de la provincia, permitiendo conectar Pontevedra con Vigo mediante una vía de alta capacidad libre de peaje para los usuarios, captando los importantes tráficos actuales de la N-550.

El presupuesto estimado de licitación de los cuatro tramos asciende a 427,6 M€. Está previsto que la actuación se desarrolle a través de la fórmula de colaboración público-privada establecida en el Plan Extraordinario de Infraestructuras (PEI).

Los tramos de la nueva autovía Pontevedra-Vigo son:

A Ermida-Vilaboia. La longitud total del tramo es de 6,48 km y discurre por los municipios de Pontevedra y Vilaboia. Se han proyectado un total de 15 estructuras de diferente tipología a lo largo del trazado, de las que cuatro son viaductos (río Pintos, 89 m de longitud; río do Pobo, 104 m; Rego do Barco, 159 m; y viaducto del ramal de conexión del enlace de Vilaboia con la N-550, de 116,4 m).

Vilaboia-O Viso. La longitud total del tramo es de 8,5 km y discurre por los municipios de Pontevedra, Soutomaior y Redondela. El tramo incluirá 15 estructuras, de las que cinco son viaductos con una longitud total de 1.434 m (Regueiro de Cacheiro, de 33 m de longi-

tud; Río Ulló, de 501,5 m; Pontesampaio, de 390 m; viaducto singular sobre el río Verdugo, de 460 m; y Arroyo Fonte Alta, de 35,5 m).

O Viso-Arrufana. La longitud total del tramo es de 9,3 km y discurre por los municipios de Pazos de Borbén, Redondela y Mos. Se han diseñado un total de 21 estructuras y 4 muros, de las que 8 corresponden a viaductos, con una longitud total de 1.848 m. La longitud total del tramo es de 5,7 km y discurre por los municipios de Redondela, Mos y Vigo. Se han incluido un total de 17 estructuras, a destacar: el viaducto sobre el río Lagares, de 506 m de longitud;

y el túnel bajo la pista del aeropuerto de Peinador, con una longitud de 605 m.

La autovía será de dos carriles por sentido de 3,50 metros de anchura, arcenes exteriores de 2,50 m e interiores de 1,50 m, mediana de 5 a 6 m y bermas exteriores de 1,1 m.

Se han previsto las obras de drenaje transversal necesarias para facilitar el desagüe de

las cuencas interceptadas, que serán evacuadas por medio de tubos, marcos o estructuras, en función de la importancia y el caudal de cada una de dichas cuencas vertientes.

También se ha proyectado la reposición de todos los servicios afectados por la nueva obra, así como la ejecución de caminos para dar continuidad a aquellos que se vean afectados por las obras.

Las labores de adecuación ambiental incluyen medidas protectoras y correctoras en relación con la protección de los suelos y la vegetación natural, protección de las aguas y del sistema hidrológico, gestión de los residuos, pasos de fauna, instalación de pantallas acústicas, ejecución de trabajos de control y seguimiento arqueológico, y labores de integración paisajística a través de la revegetación de las superficies de obra. ■



Vivir el progreso.

Las máquinas de rotación de la serie LB.

- Construcción robusta de grandes dimensiones
- Flexibilidad alta por compatibilidad con útiles de trabajo de diversos fabricantes externos
- Mesas de rotación de gran rendimiento
- Montaje rápido, transporte sencillo



Liebherr Ibérica, S.A.
C/ Argentina 15 (Pol. Ind. Casarrubios)
E-28806 Alcalá de Henares (Madrid)
Tel.: +34 911 341 900
E-mail: info.lib@liebherr.com
www.liebherr.com

LIEBHERR

El Grupo

EMPRESAS

Metso

Promoción de piezas de repuesto

Metso ha puesto en marcha una campaña limitada ofreciendo piezas de repuesto a un precio muy atractivo. La compañía está completamente involucrada en la prestación del mejor servicio post-venta para sus clientes. Con más de 35.000 trituradoras instaladas alrededor del mundo, es líder en este sector industrial donde el parque de maquinaria continúa creciendo con la instalación de nuevos equipos.

De estas máquinas y también equipos denominados clásicos, es decir, máquinas antiguas que ya no pertenecen a la actual gama de productos, cuentan con una serie de repuestos que son considerados dentro de la compañía, como referencia con poco movimiento o que tienen exceso de inventario, por ello las ofrecen a sus clientes a precios muy interesantes (hasta el 80% en algunos casos).

Esta es una promoción limitada hasta fin de existencias o final de promoción.

METSO MINERALS ESPAÑA, S.A.
Rivas,4 • 28032 Madrid
☎: 918 255 700 •
Fax: 918 255 740
E-mail: minerals.info.es@metso.com
Web: www.metso.es

Caterpillar

Contratista portugués confía en el paquete de soluciones Cat® 360°

Se ha concedido a *Mota-Engil Group*, contratista líder portugués, la construcción de un proyecto de autopistas de Douro Interior, en el noroeste de Portugal, con una longitud de 270 km, uno de los proyectos de construcción de autopistas concedidos más grandes del país. Para poder llevar a cabo tan impresionante movimiento de tierras, la compañía pidió al distribuidor Cat portugués *Barloworld STET* una solución. Esto llevó a un acuerdo de más de 40 máquinas Cat.

El acuerdo con *Mota-Engil* incluye tres excavadoras hidráulicas medianas *Cat 323D L* y dos *336D LME* y tres excavadoras hidráulicas grandes *345D LME* y una *365C LME*. También se incluyen en el paquete cinco compactadores de suelos *CS76 XT*, cuatro tractores de cadenas *D6T* y uno *D5K*, junto con seis dúmperes articulados *730*, dos dúmperes rígidos *772* y otro equipo.

Además del equipo nuevo, el pedido incluye siete dúmperes articulados *740* usados y dos tractores de cadenas *D8T* también usados. Todas estas máquinas son productos certificados por *Cat* y poseen, por tanto, una garantía *Cat* completa.

La solución 360° fue la mejor opción para



Mota-Engil, ya que nos proporcionó los equipos necesarios para realizar el trabajo con altos estándares de calidad. Gracias a las ventajas del modelo de financiación propuesto, esta fue justo la solución que estábamos buscando. También nos decidimos por Barloworld STET por la aptitud que tiene en los trabajos de mantenimiento, que tarde o temprano hay que llevar a cabo, al igual que por la formación que ofrece a nuestros empleados para que puedan conseguir los mejores resultados cuando utilizan equipos Cat, comenta Carlos Mota Santos, miembro de la junta directiva del contratista portugués.

BARLOWORLD FINANZAUTO
Avda. de Madrid, 43
28500 Arganda del Rey (Madrid)
☎: 918 740 000 • Fax: 918 720 522
Web: www.barloworld.finanzauto.es

Sandvik-Volmaquinaria

Acuerdo de distribución en España de los grupos móviles de trituración y clasificación

Sandvik Española, S.A. y *Volmaquinaria de Construcción España S.A.* –actual distribuidor de los equipos de movimiento de tierras y construcción *Volvo*–, han llegado a un acuerdo para la distribución de los equipos móviles *Sandvik* de trituración y clasificación en España.

Según este acuerdo, efectivo desde enero 2011, *Volmaquinaria* podrá comercializar, distribuir y dar soporte técnico a la gama de productos de trituración y clasificación móvil de *Sandvik* en toda España.

Volmaquinaria es una empresa con más de 30 años de experiencia en España, suministrando y dando servicio a las máquinas de *Volvo* en los sectores extractivo y de movimiento de tierras. Es líder en la venta de palas cargadoras, excavadoras y dúmperes articulados. Tiene una sólida capacidad financiera y una demostrada capacidad técnica

a través de la más extensa y consolidada red de asistencia de España.

Sandvik es un grupo industrial global con productos avanzados y posición de líder mundial en áreas seleccionadas, tales como herramientas para cortar metales, maquinaria y herramientas para excavación de roca, materiales inoxidables, aleaciones especiales, materiales de alta resistencia metálicos y cerámicos, siste-



Desde enero de 2011, Volmaquinaria distribuirá en España los equipos móviles Sandvik de trituración y cribado.

mas de procesamiento y sistemas de clasificación. En 2009, el grupo tenía unos 44.000 empleados, con representación en 130 países y un volumen anual de ventas de 7.200 M€.

Sandvik Mining and Construction es un área de negocio del grupo *Sandvik* y proveedor líder mundial de maquinaria, herramientas de carburo cementado, servicio y soluciones técnicas para las industrias de la minería y la construcción. Las ventas anuales en 2009 ascendieron a unos 3.260 M€, con una plantilla de 14.400 empleados.

La combinación de ambas compañías, líderes en su sector, potenciará de forma significativa el área de influencia de *Sandvik*, ayudando a los clientes actuales y futuros que podrán beneficiarse de la gama de productos y experiencia de *Sandvik* y la red comercial y capacidad de servicio de *Volmaquinaria*.

SANDVIK ESPAÑOLA, S.A.
Tapiceros, s/n
P.E. Puerta de Madrid Este
28830 S. Fdo de Henares (Madrid)
☎: 916 605 100 • Fax: 916 605 232
Web: www.sandvik.com

NUEVAS PALAS SERIE G



VISITENOS EN

EXPO_MATEC
Feria de Infraestructuras, Maquinaria de Obra Civil, Extracción y Minería
Infrastructure, Civil Works, Extraction & Mining Machinery Fair

24 - 28
Mayo
May
2011

CAMBIE A MEJOR

Volmaquinaria de Construcción España
San Fernando de Henares (Madrid)
Tel.: 916 559 340
www.volmaquinaria.es
Info@volmaquinaria.es

Las nuevas palas Volvo L150 L180 L220 serie G producen más porque llenan la cuchara más fácilmente: con mayores fuerzas de elevación y arranque en un 20% y un 10%. Consumen menos gasoil, hasta un 15% menos gracias al Optishift, bloqueo de convertidor de la transmisión, de serie. Incorporan Caretrack, el sistema telemático de Volvo que le informa del estado de la máquina, su consumo y le avisa del momento del mantenimiento. Por todo eso y más, podemos decir: cambie a mejor.

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT



EMPRESAS

Doka Encofrados

Premio a la seguridad de la arquitectura técnica



Doka España Encofrados ha obtenido el Premio Europeo de la Arquitectura Técnica a la **Seguridad en la Construcción**, concedido cada dos años por el Consejo General de la Arquitectura Técnica de España (CGATE). Estos galardones se entregaron en Jaén en noviembre durante una ceremonia que ha alcanzado este año su edición número quince. La finalidad de estas distinciones es valorar el compromiso de los arquitectos técnicos con la prevención de riesgos laborales y alentar la implicación de la sociedad en la mejora de las condiciones de trabajo en el sector de la construcción.

EL CGATE otorgó en la categoría de Innovación e Investigación el premio a Doka por el desarrollo de la **"Cimbra Staxo 100"**, estructura soporte novedosa y de gran aplicación en el mercado español, tanto en edificación como en obra civil. La cimbra garantiza la seguridad completa en obra, tanto en las labores de montaje como en las de desmontaje, y su sencillo manejo agiliza los trabajos reduciendo así el tiempo de ejecución, con el consiguiente ahorro de costes que ello supone.

PUMSA

construye las primeras viviendas públicas de Mataró con energía geotérmica

PUMSA ha construido un edificio de viviendas en la calle *Juan Meléndez Valdés*, de Mataró, dotadas de un sistema innovador de energía geotérmica. Éste sistema pionero le ha llevado a recibir uno de los galardones de los *Premios de Eficiencia Energética Isover 2011*, en los que se valoran los proyectos europeos más innovadores y creativos en cuanto a criterios de eficiencia energética.

Se trata de uno de los edificios de siete viviendas de protección oficial, en régimen de alquiler. Las viviendas ya están finalizadas y preparadas para ser adjudicadas. El sistema de adjudicación se llevará a cabo mediante la Lista Única de Vivienda, que gestiona la empresa municipal *Prohabitatge Mataró*, filial de PUMSA.

El inmueble ocupa una superficie de 220 m² y se distribuye en dos plantas piso más cubierta, planta baja y cuatro plantas subterráneas para el aparcamiento. La primera y segunda planta aloja siete viviendas destinadas al alquiler de protección oficial. La cubierta alberga espacios comunitarios como la lavandería y los recintos para las instalaciones. La planta baja acoge un local de uso comercial. El aparcamiento del inmueble ha sido construido conjuntamente con el promotor privado de la finca adjunta con el objetivo de ganar espacio.



Por primera vez en una promoción de viviendas de PUMSA, se aprovecha la energía geotérmica para dotar las viviendas de un sistema de calefacción y enfriamiento. Este sistema aprovecha la energía calorífica contenida en el subsuelo.

Las instalaciones de climatización y agua caliente sanitaria están centralizadas, se realizan a través de la geotermia apoyando con bombas de calor, y el frío-calor se reparte por las viviendas mediante difusores radiantes de agua situados al techo de los mismos.

En cuanto a la iluminación en los distribuidores de la parte central del edificio, se ha resuelto con conductos solares zenitales, que mientras hay luz solar hacen llegar la luz natural. Referente a los espacios comunes, se iluminan con leds conectados a detectores de presencia.

Mecanización y Minería

Perforaciones Jocal se sube al tren de la Geotermia

Perforaciones Jocal, S.L., reconocida empresa navarra del sector de las cimentaciones especiales y la ejecución de pozos y sondeos para extracción de agua, ha adquirido recientemente a *Mecanización y Minería, S.A.* un equipo de perforación **Hütte HBR 205 GT**, especialmente diseñado para la ejecución de perforaciones en Geotermia.

Pertenciente al grupo *Casagrande S.p.A.*, *Hütte* es líder mundial en la fabricación de equipos y accesorios para perforación geotérmica.

Como características principales del equipo adquirido, cabe destacar el sistema de triple mordaza, 20.000 kg t de fuerza de extracción directamente desde el reductor de avance, estante portatubos, doble cabezal de rotación con desplazamiento lateral y sistema

magnético para manipulación de la sarta de perforación.

La **Hütte HBR 205 GT** es una máquina autopropulsada totalmente hidráulica montada sobre orugas, es conforme a la normativa CE y equipa un motor Diesel de última generación que le proporciona una potencia de 147 kW (197 hp) a 2300 rpm.

Específicamente diseñada para aplicaciones en Geotermia, también se puede utilizar para perforación de recubrimientos, perforación con martillo en fondo, con hélice, perforación para inyección, perforación para exploración, perforación de pozos de agua, o micropilotaje.



MECANIZACIÓN Y MINERÍA, S.A.

Pelaya, 33
28110 Algete (Madrid)
☎: 916 293 680 • Fax: 916 280 457
E-mail: consultas@mymineria.com
Web: www.mymineria.com



La **Hütte HBR205GT** se caracteriza por un diseño robusto y compacto con controles sencillos así como una alta eficiencia.



Soluciones innovadoras para la Ingeniería Civil

El cumplimiento de los plazos de ejecución de obra con todos los requisitos de seguridad y fiabilidad se alcanza confiando en productos y servicios profesionales que aporten tecnología y calidad, con un alto grado de innovación en todas las fases del proyecto.

Química para la Construcción e Industria



Sika, S.A.U. Tel.: 916 57 23 75
info@es.sika.com · www.sika.es

Innovation & Consistency | since 1910

XI Jornada Técnica SEMSIG - AETESS

Tratamientos en túneles y galerías

Dentro de la serie de Jornadas Técnicas que organizan la *Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica (SEMSIG)* y la *Asociación de Empresas de la Tecnología del Suelo y Subsuelo (AETESS)*, el pasado 3 de marzo se celebró en el Colegio de ICCyP de Madrid, la Jornada sobre *Tratamientos en túneles y galerías*, con la que se cumplen 11 años de jornadas técnicas relacionadas con la Ingeniería del Terreno. En este reportaje se expone un resumen de cada una de las ponencias presentadas en las sesiones sobre diseño, ejecución y control de este tipo de técnicas.

Con esta Jornada Técnica, dedicada en esta edición a *Tratamientos en túneles y galerías*, se cumplen 11 años de la serie de jornadas técnicas organizadas conjuntamente por SEMSIG y AETESS –y en colaboración con AETOS–, cuyo objetivo es promover un foro de discusión en el que poder debatir los aspectos más importantes del diseño, ejecución y control de estas actuaciones.

En este tiempo más de 4000 profesionales relacionados con la Ingeniería del terreno han participado en este tipo de certámenes técnicos, donde se han tratado temas como: *pilotes para edificación; muros pantallas en ámbito urbano; micropilotes; inyecciones y jet grouting; anclajes; técnicas de mejora del terreno; rehabilitaciones en construcciones históricas; pilotes de gran diámetro; protección y refuerzo de taludes; actuaciones en obras portuarias, o túneles y galerías* de esta undécima jornada.

Como en anteriores ocasiones el núcleo de la jornada estuvo constituido por dos Mesas redondas, la primera dedicada a los aspectos de *diseño y control*, y la segunda dedicada a la *ejecución* de trabajos especiales, ambas introducidas por un conjunto de presentaciones a cargo de expertos y profesionales del sector de reconocido prestigio en el campo de la geotecnia y las obras subterráneas, que servía de

base para encauzar los posteriores debates sobre los distintos aspectos de las técnicas consideradas y su normativa.

Inauguración y sesión sobre diseño y control

La inauguración de la Jornada estuvo presidida por *Jesús Trabada*, consejero delegado de *MINTRA*, quién agradeció a SEMSIG y AETESS la oportunidad brindada para inaugurar esta jornada dedicada a *Túneles y Galerías*, cuyas actuaciones geotécnicas permiten asegurar, por un lado, la calidad y seguridad de los trabajadores en el túnel y, por otro, la seguridad de los usuarios.

Explicó que en sus años como responsable de las obras del *Metro de Madrid*, con 211 km de longitud y 162 estaciones, el mejor tratamiento ha sido la correcta elección del sistema constructivo: *tuneladoras, cut over*, o método belga, desechando el metro austríaco; y determinando las posibles zonas de riesgo para poder actuar sobre ellas. Planteó los tipos de tratamiento mas usuales en los últimos 16 años, destacando las protecciones laterales con pilotes y *jet grouting*; pozos drenantes; protección de emboquilles, etc.; y manteniendo una estrecha relación de asesoría técnica con las principales empresas españolas de cimentaciones especiales.

Palabras clave: CONSOLIDACIÓN, EXCAVACIÓN, FRENTE, INYECCIÓN, IMPERMEABILIZACIÓN, JET GROUTING, REFUERZO, TRATAMIENTO DEL TERRENO, TÚNEL.

 **Francisco ESQUITINO, Geólogo**
Dtor. de INGEOPRES

A continuación *Manuel Arnáiz*, presidente de AETOS, fue el encargado de presentar a los ponentes de la sesión de diseño y control, así como un breve bosquejo de sus respectivas ponencias.

- **TRATAMIENTOS DE MEJORA Y CONSOLIDACIÓN MEDIANTE JET-GROUTING, INYECCIONES, ETC.**

José M^a Rodríguez Ortiz, Dr. ICCyP y catedrático de Mecánica del Suelo y Cimentaciones de U.P. de Madrid, fue el primer ponente de la sesión y en su introducción se refirió a que existen muchos casos en los que la ejecución de túneles requiere una mejora o tratamiento del terreno, bien para hacer viable la construcción o para reducir las afecciones en el entorno. A veces el objetivo del tratamiento es reducir las afluencias de agua o permitir la continuidad de un determinado método constructivo ante unas condiciones geotécnicas adversas.

En los túneles convencionales, especificó que algunos tratamientos pueden hacerse desde el propio túnel siendo también posible introducir cambios puntuales en el sistema constructivo o en el sostenimiento. En los métodos con tuneladora existen muchas limitaciones para trabajar desde la máquina, no solo la perturbación creada por las paradas sino la fal-



Mesa de apertura de las jornadas, en el centro *Manuel Arnáiz* y *Jesús Trabada*, flanqueados por los presidentes de AETESS y SEMSIG.



La Jornada técnica contó con la presencia de más de 150 técnicos interesados en los tratamientos en las obras subterráneas.



José Mª Rodríguez Ortiz durante su disertación sobre inyecciones y jet-grouting.

ta de espacio para introducir los equipos adecuados o para obtener una cobertura suficiente del volumen a tratar. Es por ello que, salvo en el caso de grandes profundidades, se prefiera la ejecución de los tratamientos desde superficie y antes de la llegada de la tuneladora.

En su ponencia comentó algunos de los métodos de tratamiento más usuales junto con una serie de observaciones derivadas de su propia experiencia: inyecciones de sellado, de cementación, de relleno, de consolidación o compactación, de refuerzo; *jet-grouting*; columnas de mortero y *depp mixing*; congelación; drenaje al avance; o tratamientos bajo cursos de agua (barreras de pilotes secantes).

No trató las inyecciones de compensación, que serían objeto de la siguiente ponencia, ni los elementos de sostenimiento al avance como los paraguas de micropilotes, el precorte, etc.

• INYECCIONES DE COMPENSACIÓN Y OTRAS TÉCNICAS ESPECIALES

Carlos Oteo, Prof. Dr. ICCyP catedrático de Ingeniería del Terreno, describió en su ponencia que las excavaciones urbanas –a cielo abierto y/o en túnel– producen movimientos en la masa del terreno próximo que pueden provocar comportamientos anómalos en los servicios y edificios apoyados o inmersos en dicho terreno. Ello da lugar a desplazamientos –verticales y horizontales–, que pueden inducir movimientos diferenciales, distorsiones angulares, desplomes, etc., no previstos y que introduzcan daños en la estructura y revestimientos o anomalías que produzcan alarmas (p.e., fisuras en tabiques).

Contra estos problemas se ha venido luchando con diversas soluciones mediante: cambios de los procesos constructivos (apuntalamiento de pantallas, refuerzo del sostenimiento y del frente, etc); recalce previo de los edificios, con micropilotes o sistemas similares; refuerzo del terreno sobre la bóveda del túnel, con paraguas de micropilotes o de inyecciones; Interponer entre excavación y estructura algunas barreras (pilotes, de inyecciones arma-

das o de *jet-grouting*) que rigidicen el terreno.

Pero, desde hace años, existe otro sistema que, ha venido extendiéndose y que es utilizado a menudo en el caso de obras subterráneas urbanas. Se trata de las *inyecciones de compensación*. Esta técnica supone la realización –previa a la excavación del túnel– de una serie de taladros bajo la estructura o en la zona de *sombra de afección* del túnel al edificio.

En esos taladros (generalmente horizontales, que suelen perforarse desde pozo, aunque pueden ser inclinados y hacerse desde superficie) se instalan tuberías (de PVC o metálicas) y, en ellas, válvulas o manguitos (cada 0,5-1,0 m de distancia) de forma que, una vez selladas las tuberías contra el terreno, se pueden inyectar o reinyectar –de forma selectiva– las válvulas, limpiándolas cada vez.

En su ponencia trató, concretamente, de: inyecciones de compensación, de forma prioritaria; empleo de columnas de mortero para refuerzo de terrenos débiles por encima de túneles; inyecciones de relleno de huecos en túneles convencionales y con tuneladora; utilización de rellenos con mortero en el caso de inestabilidad dorsal; refuerzo del terreno superficial con aditivos y/o precarga; así como algunos comentarios sobre mezcla de técnicas.

Finalmente, concluyó que la técnica de las *inyecciones de compensación* ha permitido excavar cerca y debajo de estructuras sin que estas experimenten movimientos no admisibles. El tratamiento se aplica en una primera fase (acondicionamiento), con inyección a través de la técnica TAM (y de poca eficacia, ya que hay que introducir de 15 a 20 veces el volumen a levantar), para levantar tan sólo del orden de 3-4 mm la estructura. Después, la segunda fase (o de compensación) intenta ir pensando los asentamientos que pueden ir produciendo (hay que inyectar de 2 a 5 veces el volumen a compensar).

A veces, el efecto de armado de taladros horizontales inyectados (y con tubo metálico)



Carlos Oteo trató en su ponencia la técnica de las inyecciones de compensación.

es suficiente para proteger el edificio y no es necesario llegar a la fase de compensación.

No se debe inyectar, por lo general, a menos de 2 m del túnel y a menos de 3 m de las cimentaciones.

La instrumentación de la estructura –y del terreno próximo– es imprescindible, para conocer los asentamientos que realmente se producen y su velocidad.

Afirmó que existen métodos teóricos y empíricos para estimar las relaciones entre los volúmenes compensados y los inyectados. Es necesario disponer de un buen sistema de previsión de asentamientos, a fin de tomar la decisión de si debe emplearse esta técnica o no.

• MÉTODO ADECO-RS COMO SISTEMA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN A FIN DE INDUSTRIALIZAR LA EXCAVACIÓN DE TÚNELES

Pietro Lunardi, de la oficina de Geoingeniería Lunardi de Milán (Italia), cerró la sesión de diseño y control comentando que Italia –que compete con Japón por el mayor número de túneles en el país–, ha estado utilizando exclusivamente el método *ADECO-RS* para excavación de túneles durante más de veinte años. Los resultados obtenidos, y que ilustraron su ponencia, confirman la validez de esta elección y demuestran que este enfoque puede ser utilizado para la industrialización de la excavación de túneles, incluso bajo las condiciones de tensión-deformación más difíciles.

Planteó el ejemplo de los proyectos de tunelización completados en la sección de los Apeninos de la nueva línea de alta velocidad/alta capacidad del ferrocarril de Milán-Roma-Nápoles: más de 73 km de túneles de doble vía con 140 m² sección transversal totalmente excavados en menos de seis años.

Esta fue una experiencia piloto para todo el sector de las grandes infraestructuras, y no sólo porque el proyecto se adjudicó a un contratista general único por primera vez en Italia, sino también por las dificultades técnicas que había que superar. El contexto geológico y geotécnico que parecía ser, y de hecho fue, uno de los más difíciles y complejos del mundo. Una variedad amplia y heterogénea de terrenos tuvieron que ser excavados, afectados por el agua subterránea y gas en momentos y bajo recubrimientos que van de cero a muy profundos.

Se seleccionó un nuevo diseño y método de la construcción para hacer frente a la heterogeneidad de los materiales y condiciones, que se basa en el *Análisis de la DEformación CONtrolada en rocas y suelos (ADECO-RS)*. Mediante la utilización de este método, que se basa en una clara distinción entre la fase de diseño y la etapa de construcción de los túneles, es posible estimar de forma fiable los



Pietro Lunardi expuso las características del nuevo método ADECO-RS.

costes de construcción y los tiempos para el proyecto de antemano, y esto a su vez hizo posible la adjudicación de contratos para la trabajar bajo la condición *llave en mano* por primera vez en la historia de las obras subterráneas para proyectos de estas dimensiones y dificultad.

Otras características importantes del método ADECO-RS son la respuesta de deformación del terreno a la acción de la excavación y la ejecución del avance a sección completa, empleados incluso en las condiciones más difíciles después de utilizar por primera vez el núcleo del terreno por delante del frente (debidamente protegido o reforzado) como un elemento estructural capaz de garantizar la formación de un efecto arco cerca de las paredes de una excavación y, por lo tanto, también la estabilidad del túnel a corto y largo plazo.

Al término de cualquier experiencia piloto es importante y necesario examinar los resultados obtenidos al final del día para evaluar la eficacia y el potencial real de las innovaciones introducidas.

La longitud de la traza que corre bajo tierra, la heterogeneidad del terreno excavado en túnel, y las condiciones de tensión-deformación extremadamente difíciles de la sección en el tramo entre Bolonia y Florencia de la nueva línea de ferrocarril de alta velocidad y capacidad de Milán-Roma-Nápoles, sin duda constituye una dura prueba de la capacidad real de este nuevo diseño y método de construcción para alcanzar las expectativas.

Mesa redonda sobre Ejecución

La segunda sesión de la jornada –moderada y presentada por José M^a, presidente de AETESS–, tuvo un carácter eminentemente práctico y en ella se trataron, entre otros temas, los tratamientos en terrenos carstificados, y casos prácticos como la impermeabilización y consolidación en la L1 de MFB, refuerzo de terreno en cruce de túneles, actuaciones con *super jet-grouting* en pozo de ventilación, o aplicación del método ADECO-RS en Florencia.



Gustavo Armijo trató sobre las inyecciones para impermeabilización de terrenos.

• TRATAMIENTO EN TERRENOS CARSTIFICADOS: TÚNELES DE ABDALAJÍS

Gustavo Armijo, Dr. ICCyP y director de Geociencia, fue el primer ponente de la sesión de ejecución, analizando las inyecciones realizadas con el objeto de disminuir el ingreso de agua a los dos túneles de la Línea de Alta Velocidad Córdoba-Málaga, en el Valle de Abdalajís, al atravesar zonas de falla y de terreno carstificado.

En primer lugar revisó la información aportada por los estudios previos sobre las zonas mencionadas y el comportamiento observado durante la construcción de ambos túneles, el cual condujo a la realización de tratamientos del terreno circundante con inyecciones, y a la ejecución en cada uno de ellos de un anillo de refuerzo de hormigón armado, *in situ*.

Finalmente, concluyó que desde antes de comenzar la excavación de los túneles se realizó un intenso seguimiento de los acuíferos por medio de una red de control hidrogeológico. Además, se realizó un modelo hidrogeológico para evaluar el impacto sobre el acuífero causado por la construcción de los túneles y el drenaje de agua a través de ellos. Para ello se utilizó el programa *ModFlow* del USGS.

Como consecuencia de las acciones anteriores, la suma de los caudales de agua medidos en las bocas de ambos túneles se ha estabilizado en torno a 20 l/s. A su vez, el nivel piezométrico se ha estabilizado también en los pozos y piezómetros de la red de control hidrogeológico, con unas subidas puntuales en coincidencia con las lluvias registradas a partir de diciembre de 2007. Este comportamiento indicaría el inicio de un proceso natural de recarga del acuífero.

• TRATAMIENTO DE IMPERMEABILIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE LA LÍNEA L1 DEL FMB EN LA ESTACIÓN DE BARÓ DE VIVER

Leoncio Prieto, ICCyP y director técnico del grupo Rodio-Kronsa, se refirió en su introducción al aumento del nivel freático que ha sufrido el Delta del Besós, a lo largo de los últimos años, lo que ha generado problemas de infiltra-



Leoncio Prieto habló sobre los tratamientos de impermeabilización y consolidación.

ciones a las estructuras de la zona y, en concreto, a las de la Línea 1 de F.M.B. La causa de estos problemas radica, en gran parte, en el cierre de la mayor parte de las industrias implantadas en la zona en los años 60/70, que extraían grandes caudales de agua subterránea para su uso en las plantas allí instaladas.

La Estación de *Baró de Viver* de la Línea 1– la obra que describió–, se encuentra situada en el límite de los t.m. de Barcelona y Santa Coloma de Gramanet. En el interior de dicha estación aparecieron importantes filtraciones de agua, incrementándose su magnitud con los años, que se habían ido canalizando para facilitar su evacuación, mediante canaletas de recogida de agua, por el exterior de las vías, hasta un pozo de bombeo situado en el punto más bajo de la traza.

El problema de las filtraciones existentes en la zona, se había estudiado en múltiples ocasiones, originando diferentes actuaciones (en varias etapas) que no habían acabado de solucionar el problema de una forma definitiva.

Durante la construcción de la estación el nivel freático estaba situado a unos 4,00 m. por debajo del nivel inferior de las pantallas. Este hecho provocó que se ejecutara la contrabóveda y losa hormigonadas contra la pantalla, sin ningún tipo de junta de impermeabilización en la conexión entre ellas. En los últimos años el nivel freático ha tenido una importante subida, hasta situarse (en el año de ejecución de las obras) unos 2,00 m. por encima del nivel de andenes, provocando importantes filtraciones al interior de la estación y del túnel. Este hecho ha motivado la realización de diversas actuaciones dirigidas a impermeabilizar la estación y el túnel, que no han solucionado el problema de una forma definitiva.

Otros problemas que genera esta situación de ascenso del nivel freático y de filtraciones constantes, a través de los elementos estructurales, son: la degradación del hormigón y de las armaduras de la estructura; la modificación considerable de las solicitaciones para las que fue diseñada la estructura; el agotamiento del

AETESS

ASOCIACIÓN DE
EMPRESAS DE LA
TECNOLOGÍA DEL
SUELO Y SUBSUELO

GEOCISA

c/ Los Llanos de Jeréz 10-12 Coslada - 28820 Madrid
Tel.: 91.660.30.00 - Fax: 91.671.64.00
www.geocisa.com

KELLERTERRA

c/ Miguel Yuste, 45 Bis - 28037 Madrid
Tel.: 91.423.75.00 - Fax: 91.423.75.01
www.kellerterra.com

PILOTES POSADA S.A.

Ctra.de Baiona 44 - 36213 Vigo
Tel.: 986.29.35.00 - Fax: 986.20.21.52
www.pilotesposada.com

PILSON TECNICAS DEL SUBSUELO

c/ Playa de Riazor, 22 - 1ª Plt. 28042 - Madrid
Tf.: 913590001 // Fax: 913509982
www.pilson-ts.com

RK RODIO KRONSA

c/ Velázquez 50, 6ª Plt.- 28001 Madrid
Tel.: 91.562.46.10 - Fax: 91.561.30.13
www.rodiokronsa.es

Site

c/ Febrero 36 - 28022 Madrid
Tel.: 91.747.34.44 - Fax: 91.747.36.66
www.site.biz

TERRA BAUER

c/ Miguel Yuste, 45 Bis - 28037 Madrid
Tel.: 91.423.75.00 - Fax: 91.423.75.01
www.terrabaauer.com

TERRATEST

CIMENTACIONES

c/ Miguel Yuste, 45 Bis - 28037 Madrid
Tel.: 91.423.75.00 - Fax: 91.423.75.01
www.terratest.es

AETESS

Goya Nº 23, 3º Drcha. - 28001 Madrid
Tel.: 91.577.33.21 - Fax: 91.431.79.63
e-mail: aetess@aetess.com
www.aetess.com



factor de seguridad frente a flotabilidad de todo el conjunto o de la solera en contrabóveda.

En junio de 2006 comenzaron las obras de Impermeabilización de la Línea 1 del F.M.B. en la estación Baró de Viver, ejecutadas por una UTE formada por *Rodio* y *Kronsa*, como subcontratista del adjudicatario de las obras, *Ferrovial*.

Con el fin de analizar las posibles soluciones, con anterioridad se realizó una prueba de inyección, que permitió adoptar la solución de inyecciones tanto desde el exterior, en sección de juntas, interior, sección con resinas, y gunitado de zonas cerchadas.

Se determinaron los parámetros de inyección, y todo el proceso estuvo constantemente controlado e instrumentado por un sistema de auscultación remoto en tiempo real y automatizado.

- **REFUERZOS DEL TERRENO EN CRUCE DE TÚNELES FGC Y RENFE. INTERCAMBIADOR DE TERRASSA. PARAGUAS CON ARMADURAS DE FIBRA DE VIDRO**

Juan Carlos Novarece, Ingeniero de Minas de Site, S.A., explicó que dentro del proyecto de Ampliación de la red de trenes de cercanías del área metropolitana de Barcelona y su zona de influencia, FGC ejecuta la prolongación de la línea de trenes a Terrassa y dotan a la ciudad con tres nuevas estaciones urbanas subterráneas, constituyendo una verdadera línea de metro propia que une y comunica la ciudad con los nuevos tramos: *Rambla de Egara-Valparadis-Can Roca*. Para ello, se ejecutaron dos nuevos túneles paralelos de unos 5 km de extensión con sendas TBM EPB de Ø 6,82 m.

En su ponencia se ocupó del tratamiento del terreno en la *Estación del Intercambiador* entre la línea nueva de FGC y la línea existente de RENFE, donde los dos nuevos túneles se cruzan por debajo del túnel existente de RENFE, e interceptan la conducción de un tubo colector de pluviales sobre la calle *2 de Julio* de la ciudad de Terrassa.

Para el tratamiento se definía en proyecto la realización de inyecciones de consolidación del



Tras las exposiciones, los ponentes contestaron a las preguntas sugeridas por los asistentes.

terreno, conjuntamente con el refuerzo con paraguas de micropilotes de armadura metálica y apeos provisionales de las vías de Renfe. En el diseño y proyecto modificado se incorporaron nuevos materiales, no utilizados hasta el momento en España para este tipo de trabajos, para hacer factible, más seguro y práctico este tipo de refuerzos.

Finalmente, trató y detalló la utilización de armaduras tubulares en *fibras de vidrio* en la ejecución de los paraguas de micropilotes. La sección de los tubos se definió de forma equivalente al comportamiento mecánico de las armaduras metálicas delo proyecto dentro de las secciones tipos que podían fabricarse. La sección de fabricación se definió de 100 mm de diámetro exterior y 20 mm de espesor de pared.

La longitud de los tubos se definió para hacerlos manipulables en el interior de los pozos, en tramos de 4,00 metros. La unión entre tramos se realizó con tubos interiores de menor Ø (manguitos). El diseño de los manguitos de unión permite un comportamiento mecánico similar a la armadura tubular continua.

- **ACTUACIONES CON SUPER JET-GROUTING EN POZO DE VENTILACIÓN DEL TRAMO SANTS-SAGRERA LAV BARCELONA, Y APLICACIÓN DEL MÉTODO ADECO-RS EN TÚNEL DE POZZOLATICO (FLORENCIA)**

Goran Vukotic, Ingeniero Civil de KellerTerra, S.L., presentó en su ponencia dos casos de aplicación de técnicas especiales empleadas en obras de túneles. Por un lado se aborda el Jet-grouting como una de las técnicas más adecuadas y versátiles para el tratamiento y

mejora del terreno en obras de túneles y galerías, siendo aplicable para casi todos los métodos de excavación de túneles y todos los tipos de suelo, pudiendo emplearse tanto para soluciones ejecutadas desde el interior del túnel como para soluciones ejecutadas desde una plataforma exterior. En función de los objetivos de la mejora, pueden aplicarse distintos tipos de *jet-grouting* (Jet I, II, III, o *Super jet-grouting*).

En concreto, analizó un caso particular de aplicación de *Super jet-grouting* como barrera hidráulica, destacando los aspectos más importantes de la solución adoptada y del proceso constructivo realizado. También analizó el control y auscultación efectuado durante el proceso de ejecución, y la verificación general de la idoneidad del tratamiento.

Por otro lado, presentó un ejemplo referente a la aplicación del método *ADECO-RS* (Análisis de la DEformación COntrolada en Rocas y Suelos; *Lunardi*, 2000) el cual consiste, básicamente, en un tipo de excavación tradicional de la sección completa del túnel. En concreto expuso los detalles más importantes del diseño y ejecución del túnel Pozzolatico (Florencia), que representa uno de los tramos más importantes del proyecto de ampliación del tercer carril de la autopista Florencia Norte-Florencia Sur, realizado en zonas con baja cobertera y escasas propiedades geotécnicas de los macizos rocosos.

Mesa redonda y clausura

Tras las ponencias se celebró una mesa redonda entre los ponentes de las dos sesiones de diseño y ejecución, donde se respondieron a preguntas particulares sobre dudas o ampliaciones de parte de las ponencias presentadas.

Finalmente, César Sagasetta como presidente de SEMSIG, clausuró la Jornada haciendo hincapié en las experiencias extraídas en ésta y anteriores jornadas organizadas por la Asociación, e invitando a los asistentes a una futura jornada técnica de cuya temática se dará cumplida información más adelante.



Juan Carlos Novarece durante su exposición.



Goran Vukotic expuso el super jet-grouting.

AETESS
Goya, 23 - 3ª Plta • 28001 Madrid
☎ : 915 773 321
Fax: 914 317 963
E-mail: aetess@aetess.com
Web: www.aetess.com

División MEYCO

Soluciones para Construcción Subterránea

 **BASF**

The Chemical Company

El campo de la construcción de Grandes Obras Subterráneas, se encuentra en un período de constante y profunda innovación tecnológica. Estos avances engloban desde la técnica de excavación de túneles con perforación y voladura hasta el tratamiento de terreno exigido en la excavación mecánica con máquinas tuneladoras tipo TBM. Gracias a nuestra proyección internacional, estamos a la vanguardia en las últimas innovaciones tecnológicas.

La división MEYCO, de **BASF Construction Chemicals**, proporciona asesoramiento técnico en todas y cada una de las parcelas en las que está dividida la construcción de túneles...

Diseño de hormigones Especiales para Revestimientos de Túneles.

Impermeabilización de Túneles con membranas proyectables.

Inyección y Consolidación de terrenos, Jet Grouting.

Productos para excavación de terrenos con Tuneladoras TBM en sus diferentes modalidades.

Protección contra el Fuego.

Equipos y aditivos para Hormigón proyectado.

Minería.

A través de la participación de **BASF Construction Chemicals** en los proyectos más significativos, el departamento de I+D está en constante evolución y creación de novedosos productos para cualquier requerimiento o especificación técnica que se necesite a pie de obra.

BASF Construction Chemicals España, S.L.
aditivos@basf.com
www.basf-cc.es

Adding Value to Concrete



International Year of
CHEMISTRY
2011

BASF is a Global Sponsor

Visítenos
en
SMOPYC
2011
Pabellón 3
Stand F/4-6

Geocisa ha ejecutado las cimentaciones de la Estación Mercat, para la línea T2 del Metro de Valencia

Ejecución de las cimentaciones de la estación Mercat, para la Línea T2 del Metro de Valencia. Problemática de las grandes profundidades de ejecución en zonas urbanas

Las obras, adjudicadas por la Consejería de Transportes de la Comunidad Valenciana a la UTE Estación Metro Mercado Central, compuesta por las empresas Dragados y Pavasal, consisten en la construcción de la infraestructura de la estación mencionada y del aparcamiento subterráneo de cinco plantas que se ubicará sobre ella.

La obra, en ejecución en el momento actual, está en fase de excavaciones, para la construcción de la infraestructura del aparcamiento por el método ascendente descendente.

Las obras de cimentación fueron adjudicadas a la empresa Geocisa. Éstas consistieron en la ejecución de las siguientes unidades de obra:

- 11.143 m² de pantalla perimetral, de espesor 1.200 mm, de 38,50 m de profundidad.
- 3.272 m² de pantalla de 600 mm, para corralitos exteriores, de 32,80 m de profundidad.
- 31 unidades de módulos portantes, de espesor 800 mm y profundidad 50,80. En total se han excavado 5.354 m².
- 28 unidades de pila-pilote, de 42 metros de profundidad, de espesor 1.200 mm. En total se han excavado 3.800 m².
- 20.000 m³ de tapón de fondo de *jet-grouting*, constituido por 1.470 columnas de

La Estación Mercat, para la línea T2 del Metro de Valencia, se está construyendo frente al Mercado Central coincidiendo, en planta, con el aparcamiento que había en la plaza Ciudad de Brujas. Previamente al comienzo de las obras se demolió dicho aparcamiento, dejando preparada la plataforma de trabajo para el trabajo de las máquinas que ejecutaron la cimentación

Palabras clave: APARCAMIENTO, CIMENTACIÓN, ESTACIÓN, EXCAVACIÓN, PANTALLA, PILOTE, PROFUNDIDAD, SUPERJET.

 **Luis E. ASENSIO RAMÍREZ***, Ing. Caminos.
David RUIZ ALONSO*, Ing. Caminos
(*) Dirección de Producción de **GEOCISA**.

2,50 m de diámetro, con una perforación estéril de casi 45.000 m. El tapón, de gran profundidad, se sitúa entre las cotas -30,50 y -36,50.

Las obras de cimentación han tenido dos fases:

- Entre noviembre de 2008 y agosto de 2009: Ejecución de pantallas, módulos portantes y pilas-pilote.
- Entre septiembre de 2009 a julio de 2010: Ejecución del tapón de fondo de *jet-grouting*.

Ejecución de pantalla perimetral, módulos portantes, pilas pilote y pantallas de corralitos

La gran dificultad de estas obras han sido las grandes profundidades a las que se ha trabajado, tanto en pantallas como en módulos portantes, pilas pilote y tapón de *jet-grouting*.

Para controlar los desvíos de las pantallas, las cucharas llevaban incorporado el sistema **Geovert** de control de verticalidad, desarrollado por Geocisa. La verticalidad era importante tanto para poder introducir las juntas, como para no disminuir los gálibos interiores de la futura estación y aparcamiento.

Dado el gran espesor de la pantalla perimetral como su profundidad, fue necesario garantizar la estabilidad de los paneles durante la excavación, sobre todo teniendo en cuenta que, debido al tiempo que se tardaba en excavarlos, se tuvieron que dejar paneles abiertos de un día para otro, en la proximidad de edificaciones. Para ello hubo que recurrir al cálculo de estabilidad mediante el programa



■ Vista superior de la obra de cimentación en la estación Mercat.



■ Equipos ejecución de jet-grouting.



■ Excavadora Liebherr 875 equipada con cuchara Stein K-810.



■ Excavación frente a fachada para pantalla perimetral.

GGU-Trench, basado en la norma DIN 4126, que establece los coeficientes de seguridad de los paneles en función de su distancia a las edificaciones, en función de una serie de parámetros.

Uno de los factores de mayor importancia para conseguir la máxima estabilidad fue un exhaustivo control del lodo bentonítico, limitando la penetración de éste en el terreno, para poder conseguir el efecto membrana en las paredes de la excavación. El efecto membrana se consigue cuando la fuerza estabilizadora del empuje del lodo es la resultante del empuje hidrostático, sin tener que minorarlo por causa de la penetración mencionada en el terreno. Para ello se estableció un valor mínimo del denominado *límite líquido* o *yield point*

estático de 10 N/m^2 , representado como τ_F en la norma DIN 4126.

Este parámetro se controlaba con un equipo de medida, casi desconocido en España, que es el *aparato de arpa de bolas* o *ball harp*, de uso bastante habitual en Alemania. Este valor se fija en función de la granulometría del terreno atravesado, en particular del valor d_{10} o *tamaño crítico*, definido por la norma como el tamaño de la curva granulométrica que pasa el 10% del total. Cuanto mayor sea d_{10} , mayor deberá ser el valor de τ_F para conseguir el efecto membrana. Dentro de este exhaustivo control del lodo destacó la toma continua de muestras para ensayos de filtro prensa, midiéndose el valor de filtrado y espesor de *cake*.

- *Gel 0*: medida del esfuerzo de corte tras dejar de agitar el lodo.
- *Gel 10*: medida del esfuerzo de corte tras dejar el lodo en reposo durante 10 minutos.

Estos valores dan una clara idea del endurecimiento tixotrópico, y son valores de *yield point* estático en función de los tiempos de reposo mencionados.

La norma DIN 4126 mide este valor tras dejar el lodo en reposo 1 minuto. Es lo que denomina τ_F . En lugar de medirlo con un viscosímetro rotacional, se mide con el *aparato de arpa de bolas*. Lógicamente, este valor estará comprendido entre los valores *Gel 0* y *Gel 10*.

Es importante, cuando se excava en zonas



■ Aparato de arpa de bolas para medida del *yield point* estático del lodo bentonítico.

Dentro de lo que es la medida del *yield point* en los fluidos tixotrópicos, hay varios momentos en los que se mide, en función de la norma utilizada. Cuanto más tiempo pasa desde que se ha parado la agitación, es decir, desde que está en reposo el fluido, mayor será el valor del esfuerzo de corte necesario para movilizar el fluido. Este fenómeno es lo que se denomina *endurecimiento tixotrópico*.

El desarrollo de los fluidos de perforación ha venido de la mano del desarrollo de las perforaciones petrolíferas, por lo que casi todas las normas que regulan estos fluidos son normas API (*American Petroleum Institute*).

Las normas API establecen la forma de medir lo que podríamos denominar como *yield point* dinámico, que se mide con viscosímetro rotacional, con las características que indica la norma.

Dentro de lo que se podría llamar como valores de *yield point* estático, las normas API establecen lo que se denomina *gel strength* o fuerza de gel. Tras agitar el lodo se toman dos mediciones con el viscosímetro rotacional:



■ Filtro prensa para medida del filtrado y *cake*.



■ Izado de armadura con una grúa hidráulica Liebherr 883.



■ Descarga del material excavado con la cuchara Stein K-810.

urbanas en la proximidad de edificios, tener muy controlado el lodo de perforación.

La ejecución de la pantalla perimetral, de espesor 1.200 mm, se ha realizado utilizando juntas tricilíndricas *Stein*. Su principio de funcionamiento es similar al de las juntas circulares, ya que se extrae mediante gatos una vez ha comenzado el fraguado del hormigón. Para grandes espesores tiene la ventaja de que los avances de hormigonado no se ven reducidos en tanta cuantía como con juntas circulares, permitiendo excavar con cucharas de apertura convencional. *Geocisa* utiliza este tipo de juntas para espesores de 1.200 mm y 1.500 mm.

Otra de las grandes dificultades que se presentaron en estas obras fue la ejecución de las pilas pilote (módulo portante + pila). La zona de pila eran perfiles metálicos de gran longitud y peso, lo que obligó al empleo de medios poco convencionales. Los perfiles eran doble *HEM* de diversas medidas, con longitudes alrededor de los 35 metros, lo que dificultaba su manipulación, centrado y aplomado. Las pilas no eran de sección constante, variando el tipo de perfiles en función de la zona.

Los cambios de tipo de sección de perfil se unían mediante placas de unión que se atornillaban *in situ* mediante llaves dinamométricas. Las placas de unión, reforzadas con cartelas, estaban soldadas perfectamente perpendiculares al eje de los perfiles para garantizar la perfecta verticalidad de todos los tramos tras su empalme. En la zona de empotramiento en el pilote, algunos pilares comenzaban con doble *HEM-600*.

Para la excavación de las pilas pilote fue necesario un exhaustivo control de verticalidad. Debido a la envergadura de los perfiles y a la presencia de conectores en el tramo inferior,

no había mucho margen respecto a la armadura del módulo portante. Un desvío fuera de tolerancias podía impedir el aplomado del pilar, por lo que se extremaron las precauciones. Además, para evitar empujes del hormigón sobre los perfiles, con el consiguiente peligro de pérdida de verticalidad, se hormigonó con dos tuberías *tremie*, una a cada lado del perfil.

Los equipos que se han utilizado para la ejecución de estas unidades de obra han sido:

- Excavadora **Liebherr 875 HD**, de 1.000 kN de capacidad, dotada de cabrestantes de 300 kN de tiro directo.
- Cucharas **Stein K-810**, de unos 220 kN de peso, para espesores de 1.200 mm.
- Cucharas **Stein K-610**, de unos 170 kN de peso, para espesores de 600 y 800 mm.
- Grúa auxiliar **Liebherr 883 HD**, de 1.200 kN de capacidad, dotada de cabrestantes de 200 kN de tiro directo.
- Gatos y juntas **Stein**, de 1.200 mm de espesor.
- Gatos y juntas circulares, de espesor 600 mm, para corralitos exteriores.
- Planta de lodos, con mezcladora automática continua **MAT SKA-60 K** para fabricación de lodos, depósitos de almacenaje y 2 desarenadores **Gosag** de 100 m³/hora cada uno.
- Centradores - aplomadores para las pilas pilote.

Tapón de fondo de *Superjet*

El tapón se ha realizado entre las cotas -30,50 y -36,50, de forma que dicho tapón funcione cómo arriostamiento de la pantalla y cómo elemento impermeabilizador que permita realizar el vaciado del solar, hasta la

cota requerida, sin la presencia del agua freática.

Dada la singularidad de la obra ejecutada, en la que se conjugaba la ejecución de un tapón impermeable de *superjet*, a más de 30 m de profundidad, con la presencia muy cercana de edificios históricos de la ciudad de Valencia, se planteó, previo al comienzo de la obra, realizar un campo de pruebas que permitiera estudiar la influencia de la inyección de las columnas de *superjet* sobre los edificios, confirmar los diámetros de columna conseguidos a partir de los parámetros propuestos y optimizar tanto el dimensionamiento de la malla de taladros a ejecutar como el consumo de cemento necesario para obtener el efecto deseado.

A causa de la gran profundidad del tapón de fondo se planteó un doble campo de pruebas, uno superficial y otro a la cota real del tapón, que permitiera extrapolar los datos obtenidos entre uno y otro, teniendo en cuenta que se ejecutaban en terrenos similares.



■ Columna de jet-grouting en el campo de pruebas.

Los principales datos obtenidos fueron las medidas de diámetros (visualmente en el campo superficial y mediante métodos geofísicos en superficie y profundidad), las medidas de desviaciones de los taladros (fundamental para definir la apertura de la malla de taladros) y las medidas de propiedades físico-mecánicas de las columnas (resistencia, densidad, etc) que permitiría asegurar que se cumplieran los requisitos estructurales del tapón.

Además, durante la ejecución del campo de pruebas, se realizó un registro continuo de parámetros de perforación y de inyección, así como un control exhaustivo de las propiedades del rechazo de inyección que salía por boca de taladro que permitiera detectar posibles anomalías en el tratamiento.

Con todos los datos extraídos del campo de pruebas se definieron los parámetros de tratamiento y la apertura de la malla más adecuada, optándose por la inyección de columnas de 2,50 m de diámetro dispuestos según una malla triangular de 1,70x1,70 m, adaptando dicha malla a las particularidades del solar, lo que suponía ejecutar un total de 1.470 columnas para cubrir un volumen de tratamiento aproximado de 20.000 m³ (8.250 ml de tratamiento) y una perforación estéril de casi 45.000 ml (aproximadamente 30,50 m por columna).

Sin embargo, cómo consecuencia del corte geológico del terreno en el que se situaba el tapón en el que se contaba con una capa de grava y otra de arcillas limosas en la parte inferior y de los resultados obtenidos en ambos terrenos en el campo de pruebas, se decidió inyectar las columnas con parámetros diferenciados dentro de una misma columna, (dosificaciones de lechada y tiempos de persistencia distintos) en función del tipo de terreno a tratar tal y cómo se recoge en el **Cuadro I**.

La obra se dividía en 3 zonas distintas de tratamiento, dos zonas con un tapón de fondo de 3 m de espesor en los corralitos de entrada y salida de la tuneladora a la estación, y otra zona, correspondiente al recinto de estación y aparca-



■ **Equipo de perforación-inyección para jet grouting.**



■ **Planta fabricación y bombeo para jet grouting.**



■ **Fase de inyección de jet grouting.**

PARAMETROS SUPERJET	GRAVAS	ARCILLAS
Caudal lechada (l/min)	350-400	350 - 400
Dosificación lechada (A/C)	1/1	1/0,8
Velocidad rotación (rpm)	6-12	6-12
Ø toberas cemento (mm)	1 de 5.5	1 de 5.5
Diámetro toberas aire (mm)	2	2
Presión lechada (kg/cm ²)	630	630
Cantidad de Cemento (kg/m)	3000	3000

■ **[CUADRO I].- Tipos de lechada en función del terreno a tratar.**

miento propiamente dicho, de 6 m de profundidad.

Previamente al inicio de los trabajos, Geocisa realizó un estudio de los edificios situados en el entorno de la obra, fijándose unos umbrales límite de movimientos en cada uno de ellos según su tipología y estado, así cómo un protocolo de actuación en caso de superarse dichos umbrales.

Cómo se ha venido reflejando, la particularidad y dificultad de la obra hizo necesario llevar a cabo un control continuo de los parámetros de perforación e inyección en los equipos y un control de la auscultación, también continuo, con estaciones totales automatizadas aportadas por Geocisa, complementadas con medidas de movimientos convencionales (regletas e hitos de nivelación, inclinómetros, etc) que garantizaron un control permanente y exhaustivo de los movimientos de los edificios adyacentes a la obra, llevando a la modificación de los parámetros del tratamiento ó incluso de la secuencia de ejecución en algunas zonas en función de los movimientos inducidos en los edificios y del umbral de movimientos existente en cada caso.

La duración total de esta fase de la obra fue de diez meses y medio, desde septiembre de 2.009 a julio de 2.010 incluidos. Se trabajó hasta con 3 equipos, y se emplearon las siguientes máquinas:

- 2 perforadoras **P-1500 ERS**.
- 1 perforadora **SM-405**.
- 1 perforadora **PRP-150**.
- 2 plantas de superjet **Pacchiosi MA-2000**.
- Planta de superjet **Tecniwell**.
- 2 bombas de superjet **Soilmec 7T-800**.
- Bomba de superjet **Pacchiosi L-2800**.



GEOCISA

Los Llanos de Jerez, 10 y 12
28823 Coslada (Madrid)

☎: 916 603 000 •

Fax: 916 716 460

Web: www.geocisa.com

Obra: Astillero y Base de submarino nuclear brasileño en Itaguaí (Brasil)

Comparativa entre diferentes tecnologías de fluidos poliméricos utilizados en la estabilización de pilotes y pantallas

En Brasil se han desarrollado diversos proyectos de cimentaciones donde se recurre a los lodos poliméricos para la estabilización. GEO, junto con la empresa de cimentaciones *Brasfond S.A.*, colabora con el *Sistema G3®* en muchos de ellos. Uno de los más recientes es la construcción del nuevo astillero naval de la Marina de Brasil en Itaguaí (Rio de Janeiro), más concretamente en los astilleros siderúrgicos de tierra. En este proyecto, debido a sus grandes dimensiones, la ejecución de la cimentación (pilotes) se repartió entre dos empresas, recurriendo cada una de ellas a un tipo distinto de lodo sintético. *Brasfond* utilizó la tecnología de 3ª generación (*G3®*) mientras que la otra empresa ha utilizado un polímero acrílico. Ante la oportunidad que ofrece esta obra utilizando tecnologías diferentes, el objetivo del presente artículo es analizar ambos fluidos.

La obra se encuentra ubicada en las cercanías del puerto de Itaguaí, 50 km al oeste de la ciudad de Rio de Janeiro, y en el futuro constituirá la planta siderúrgica de montaje de secciones del submarino nuclear brasileño (Figs. 1 y 2). Las dos empresas de cimentaciones han ejecutado los pilotes de diámetro Ø 800 mm y una profundidad media de 25 metros. Ambas presentaban la misma cantidad de medios técnicos (dos pilotadoras y una grúa de apoyo) y trabajaron en las mismas condiciones geológicas.

La geología local consistía en: 2 metros iniciales de suelo superficial arcilloso; seguidos de 15 metros de arcilla limo-arenosa; y 7 metros de un limo arcillo-arenoso; terminando la excavación en un limo arcilloso con aspecto de roca residual. El área de trabajo se repartió en dos frentes, correspondiendo cada uno de ellos a una empresa. Además de diferentes tajos, las empresas presentaban plantas de lodos distintas e independientes, con sus caracte-

Palabras clave: BENTONITA, CAKE, DENSIDAD, ESTABILIZACIÓN, MEMBRANA, PANTALLAS, PILOTES, POLÍMERO, POLYMUD, SISTEMA G3, SUELO, TIXOTROPÍA.

BENTONITE, DIAPHRAGM WALL, G3 SYSTEMPILE, MEMBRANE, POLYMER, SOIL, STABILIZATION

 **Eónio TRINDADE. Dpto. Técnico de GEO-Ground Engineering Operations, S.L.**

terísticas propias y adecuadas a cada uno de los lodos poliméricos utilizados.

Características de cada polímero

Polímero acrílico

El polímero acrílico es de estructura química más sencilla, aunque posee alto peso molecular. En general, para que se obtenga un fluido de estabilización con alta viscosidad es necesario

mezclar dos productos, uno sólido (granulado) y uno líquido (emulsión). El primero está compuesto por un polímero natural, que tiene la función de agente estabilizante principal y de limpieza de la excavación. El segundo, por otro lado, posee la función de estabilizante auxiliar y lubricante en las excavaciones. Además de estos dos elementos, el fluido preparado necesita de un corrector de alcalinidad, carbonato sódico, para propiciar la subida del pH del agua.

De este modo, para preparar este fluido de estabilización es necesario, por cada 1000 l de agua, mezclar 1,5 l de emulsión, 1,0 kg de polímero y 0,5 kg de la carbonato sódico. Siendo la mezcla, en general, preparada a través de batidoras mecánicas de 1,0 a 3,0 m³.

Polímero de 3ª generación

El conocimiento en fluidos poliméricos de 3ª generación de este artículo está fundamentado en el *Sistema G3®*, de la empresa *GEO*, con base en el granulado de polímero sintético



■ [Figura 1].- *Publicacion en la prensa local y vista de la obra.*



■ [Figura 2].- *Futura Base Naval de Submarinos.*

PolyMud®, que se caracteriza por ser un sistema de última generación. Este es altamente concentrado y ha sido concebido únicamente para, una vez diluido en agua, interactuar químicamente con los distintos tipos de suelo. De alto peso molecular, origina una solución de alta viscosidad que está indicada para la estabilización de cimentaciones y otras aplicaciones geotécnicas. Los restantes productos que componen el **Sistema G3®** han sido desarrollados para actuar sobre el polímero principal de forma que mejore sus características en situaciones más exigentes.

Para preparar el fluido de estabilización basta añadir a un flujo constante de agua, con pH ajustado a un valor de 9-12, el granulado de polímero, en una proporción aproximada de 1 kg/m³ (**Fig. 3**). El ajuste previo del agua se obtiene a través del uso de corrector de alcalinidad en una proporción de 1 litro por 1000 lit. de agua y es importante porque mejora la calidad del fluido final.

En la obra de Itaguaí el polímero de 3ª generación ha sido utilizado como el único producto en la ejecución de los pilotes. El fluido preparado con granulado de polímero, agua y sosa cáustica ha sido lo suficientemente eficaz para mantener la estabilización de los terrenos excavados y de mantenerse limpio, sin recurrir a otro tipo de aditivos.

Comparación de metodologías de trabajo

En general, ambas empresas de cimentaciones presentaban las mismas condiciones de trabajo, poseyendo la misma cantidad de maquinaria y personal. Por otro lado, tanto el suministro de las armaduras como del hormigón, facultadas por la empresa promotora de la obra, ha sido idéntica para ambas, estando disponibles en la misma proporción y calidad.

La gran diferencia entre las dos empresas ha sido el tipo y la forma de implantación de los dos sistemas de fluidos poliméricos. A continuación, se ilustran los productos, equipamientos, procedimientos de mezcla y de suministro utilizados.

a) Productos

A continuación se presentan los productos poliméricos acrílicos y de 3ª generación empleados en la obra de Itaguaí.

El sistema acrílico se basa en la utilización de **Maxi Mud**



■ [Figura 3].- Mezcla del polímero.

AG100 (granulado) como agente principal y de **Maxi Mud AL50** (líquido) como estabilizante auxiliar. Los dos productos son siempre utilizados en conjunto.

En el sistema de 3ª generación, existe apenas un producto granulado (en este caso específico es el **PolyMud®**) que es el agente estabilizador primario. Para enfrentar situaciones más exigentes se considera la utilización puntual de otros aditivos (ej. en el **Sistema G3®**: **AlfaBond®** y **MicroBond®**).

Como evidencia la **Tabla I** en el sistema acrílico no existe ningún producto o proceso para controlar a lo largo del tiempo la densidad del fluido. Tampoco existe un proceso para bajar el

contenido de arena que puede contaminar el hormigón. Así no es posible mantener la densidad deseada en cada pilote, que es fundamental para la estabilización de la perforación.

En la **Tabla II** se tienen dos productos responsable para bajar, subir y mantener la densidad del fluido a nuestra elección. En el **Sistema G3®** es posible entonces mantener una densidad específica pretendida en cada pilote que es fundamental para la estabilización del pilote.

b) Equipamientos

Como se evidencia en la **Tabla III**, las principales diferencias en el planeamiento de la central entre los dos sistemas son, el diferente volumen del dispositivo de mezcla y la presencia del tanque de sedimentación, lo cual permite la reutilización del lodo polimérico recuperado de la excavación.

En el sistema de 3ª generación, el tanque de mezcla está equipado con tubos metálicos responsables de la agitación permanente del fluido por aire comprimido, y con una chapa inclinada para permitir una dispersión del chorro de agua facilitando la hidratación del granulado de **PolyMud®**, el cual es vertido directamente al flujo de agua (ver **Fig. 3**).

Los tanques/silos de almacenaje son utilizados también para almacenar agua. Ambos sistemas poseen bombas para enviar y recuperar

el fluido polimérico de la excavación. En la **Fig. 4** se puede observar una foto con las dos centrales de lodo polimérico, utilizadas en la obra de Itaguaí, y en la **Fig. 5** están mejor representadas, esquemáticamente.

c) Preparación de los fluidos poliméricos

El procedimiento de mezcla empieza con el suministro del corrector de pH, carbonato sódico en el sistema acrílico e hidróxido de sodio en el **Sistema G3®**. Luego se procede a la mezcla del polímero principal en forma de granulado. En ambos sistemas, el polímero se hidrata en unos 5 minutos, con la única diferencia que en el sistema acrílico se utiliza una batidora de máximo 3 m³. Mientras que en el polímero de 3ª generación se realiza la mezcla del granulado por el volumen pretendido, cualquiera que sea, de una sola vez. En este caso la unidad escogida fue 20 m³.

En la **Tabla IV** están ilustradas las dosificaciones recomendadas por los diferentes sistemas.

Nombre del Producto	Aplicación	Envase
Maxi Mud AG100	Elemento estabilizador principal y de limpieza	Bolsas de 25 kg
Maxi Mud AL50	Estabilizante auxiliar y lubricante en las excavaciones	Envases plásticos de 25 kg o de 200 kg

■ [TABLA I] .- Descripción de los productos acrílicos.

Nombre del Producto	Aplicación	Envase
PolyMud®	Elemento estabilizador primario	Bolsas de 25 kg
AlfaBond®	Local - Pérdida de fluido/aumento de la viscosidad	Envases plásticos de 120 kg
MicroBond®	Local - Catalizador de la Matriz G3®. Decantación y limpieza del fondo de la excavación	Envases plásticos de 25 kg

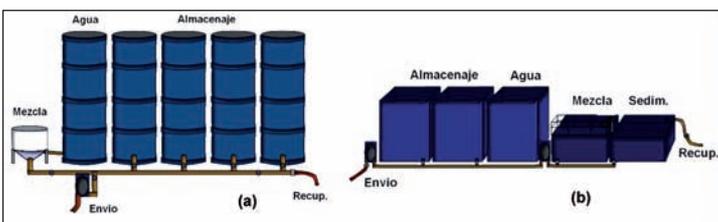
■ [TABLA II].- Descripción de los productos de 3ª generación de GEO.

Polímero Acrílico		Sistema 3ª Generación	
Cantidad	Volumen	Cantidad	Volumen
1 Batidora de mezcla	3 m ³	1 Tanque de mezcla	20 m ³
6 Silos de almacenaje	25 m ³ (cada)	3 Tanques de almacenaje	40 m ³ (cada)
-	-	1 Tanque de sedimentación	15 m ³

■ [TABLA III].- Características del equipamiento de los dos sistemas.



[Figura 4].- **Planta de lodo polimérico de 3ª generación y al fondo los silos de almacenamiento del polímero acrílico.**



[Figura 5].- **(a) Planta de lodo polimérico acrílico; (b) planta de lodo polimérico de 3ª generación.**

En el sistema **G3[®]** de **GEO**, la dosificación de 1 kg de **PolyMud[®]** por m³ de agua no es un valor fijo, ya que depende de las condiciones geológicas, freáticas y de otras posibles situaciones. En esta obra, donde la geología era principalmente constituida por arcillas, se han mantenido los valores de mezcla entre 0,8 y 1 kg/m³.

Una vez realizada la mezcla, el fluido polimérico es almacenado en los tanques/silos y está listo para emplear en la excavación.

Producción y consumo

a) Producción

En la obra de la Marina de Brasil en Itaguaí fueron implantados ambos sistemas al mismo tiempo, por un período de 3 meses aproximadamente. A continuación se hace un pequeño resumen del proceso productivo relativo a cada uno de los fluidos.

Polímero acrílico

- Envío del fluido desde el silo de almacenaje a través de una bomba.
- Durante la realización del pilote no son recogidas muestras.
- El proceso de excavación tarda cerca de 2 horas.
- Durante el hormigonado el fluido polimérico es vertido en el medio ambiente sin ningún tratamiento y no es posible reutilizar el fluido.

Sistema de 3ª Generación

- Envío del fluido desde el tanque de almacenaje a través de una bomba.
- Durante la excavación son

recogidas muestras para comprobar los parámetros del fluido. En la **Tabla V** se ilustran los parámetros objetivo, y la media de los parámetros registrados a lo largo de la obra.

- El proceso de excavación tarda cerca de 1 hora.
- Durante el hormigonado se recupera el fluido, enviándolo por medio de una bomba al tanque de sedimentación. Aquí son recogidas muestras y el fluido es en-

viado o al tanque de mezcla, si el fluido necesita ser corregido, o al tanque de almacenaje, si el fluido no necesita de ninguna corrección.

Tiempos

Como se puede ver en **Tabla VI**, el sistema de 3ª generación necesita un tiempo muy inferior al del sistema acrílico para asegurar la estabilidad del pilote a través del suministro del fluido polimérico.

b) Precios y consumos

La **Tabla VII** muestra el consumo de productos, y también de agua, y la producción del sistema de 3ª generación, expresándolos en relación al sistema de fluidos poliméricos acrílicos.

Se aprecia que cada uno de los dos productos básicos del polímero acrílico registraron un consumo más alto que el de **PolyMud[®]**, producto principal del sistema de 3ª generación. En el sistema de 3ª generación, el agente auxiliar **MicroBond[®]** fue utilizado ocasionalmente para acelerar el proceso de decantación directamente en el tanque de sedimentación. El **AlfaBond[®]** no fue utilizado en ningún pilote.

En la **Tabla VIII** está ilustrada la relación entre los precios de los productos de cada sistema y entre los costes totales al final de la obra.

El **PolyMud[®]** presenta un precio más alto, pero, cuando multiplicado por su consumo a lo largo de la obra, presenta un coste total notablemente inferior al coste total de los productos del polímero acrílico. En el cálculo del coste total de la obra por cada sistema está incluido el coste del regulador de pH.

Por último, resaltar un buen funcionamiento de la estabilización de los dos sistemas, una vez que ambos registraron un porcentaje de sobreconsumo de hormigón alrededor del 5-6%.

Conclusiones

De los trabajos ejecutados en el tajo de la nueva planta siderúrgica de la marina de Brasil en Itaguaí, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

Consumo

- El consumo del sistema acrílico necesita de tres productos para que funcione.
- El consumo en kg/m³ de cada uno de los polímeros utilizados en el sistema acrílico es 3,33 veces superior al consumo del **PolyMud[®]**, polímero necesario por la estabilización del pilote en el **Sistema G3[®]**.

Productividad

- Se evidencia una mayor productividad del sistema de 3ª generación, 1,24 veces mayor

Polímero acrílico		Sistema de 3ª Generación (G3 [®])	
Carbonato sódico	0,5 kg/m ³	Hidróxido de sodio	1,5 kg/m ³
Maxi Mud AG100	1 kg/m ³	PolyMud [®]	1 kg/m ³
Maxi Mud AL50	1,65 kg/m ³	AlfaBond [®]	-
		MicroBond [®]	-

[TABLA IV].- **Dosificaciones por la preparación de los fluidos poliméricos.**

Parámetros	Valores medios tomados al pie del pilote antes del hormigonado	Valores requeridos
Viscosidad [s]	54	≥ 50
Densidad [g/cm ³]	1,042	≤ 1,07
pH	10,9	10 ≤ pH ≤ 12
%arena	0,88	≤ 3%

[TABLA V].- **Confrontación entre valores requeridos y valores registrados a través de muestras tomadas al pie de las excavaciones antes de hormigonar.**

	Polímero acrílico	Sistema 3ª generación
Tiempo de mezcla por 20 m ³ de fluido polimérico	Cerca de 2 horas	20-30 minutos
Tiempo de excavación	Cerca de 2 horas	Cerca de 1 hora
Tiempo total empleado por el sistema en el ciclo productivo	Cerca de 4 horas	Cerca de 1 hora y media

[TABLA VI].- **Tiempos empleados por los dos sistemas en el ciclo productivo. No son considerados los tiempos de la puesta de la armadura y del hormigonado porque no varían entre los dos sistemas**

Consumos y producción del sistema de 3ª generación	
Consumo PolyMud®	3,33 veces inferior que Maxi Mud AG100
Consumo PolyMud®	3,87 veces inferior que Maxi Mud AL50
Consumo final por m³	7,2 veces inferior que Maxi Mud (AG100+AL50)
Consumo total agua	2,22 veces inferior que Maxi Mud
Cantidad metros lineales ejecutados	1,24 veces mayor que Maxi Mud

Costes del sistema de 3ª generación (PolyMud®)	
Precio PolyMud por kg	1,55 veces mayor que Maxi Mud AG100
Precio PolyMud por kg	2,36 veces mayor que Maxi Mud AL50

Costes del sistema de 3ª generación (PolyMud®)	
Valor total de la obra	3,01 veces inferior que Maxi Mud (AG100+AL50)
Importe por metro lineal	3,72 veces inferior que Maxi Mud (AG100+AL50)

que el sistema acrílico, donde la falta de reutilización eficiente del fluido polimérico fuerza a la continua producción de fluido nuevo.

- La diferencia entre productividades es debida también a una velocidad de preparación del fluido polimérico más elevada (de 4 a 5 veces más rápida) en el caso del sistema de 3ª generación y de la mejor eficiencia de excavación, siendo

este proceso más rápido con el polímero de última generación.

Calidad del producto final

- En condiciones geológicas que dificultan la estabilidad del pilote, como terreno con SPT 0 o con carga hidrostática negativa, el polímero acrílico no tiene la posibilidad de controlar la densidad del fluido.
- Si no existe un proceso para el control de la densidad específica del fluido acrílico y

[TABLA VII].- **Comparativa entre consumos y producción, de los dos sistemas.**

[TABLA VIII].- **Comparación entre costes de los diferentes productos.**

[TABLA VIII].- **Comparación entre repercusión económica por metro perforado.**

su mantenimiento, entonces la estabilidad de la excavación está comprometida y el pilote colapsa.

- El polímero acrílico resulta limitado a particulares condiciones geológicas favorables como en este ejemplo de arcillas.
- Los polímeros acrílicos no pueden asegurar el control de la posible contaminación del hormigón, ya que no existe ni control del contenido de arena, ni la posibilidad de bajarlo una vez que sea detectado un valor inadmisibile.
- El **Sistema G3®** permite controlar cualquier parámetro del fluido y mantenerlo a lo largo del tiempo.
- En el **Sistema G3®** la estabilidad del pilote es asegurada por cualquier tipología de terreno a través del continuo mantenimiento de la densidad, que puede ser modificada dependiendo de las exigencias.
- El asiduo control del contenido de arena al pie del pilote y su control, permite asegurar una óptima calidad del hormigón.



GEO-GROUND ENG. OPERATIONS

Avda. Vía Láctea, s/n - Local, 25
28830 S. Fdo. de Henares (Madrid)
☎: 912 773 179 • Fax: 912 919 776
E-mail: info@geosoil.com
Web: www.geosoil.com/espana



La tecnología más avanzada de estabilización de suelos en su obra

Todos los productos son ambientalmente seguros



Sistema G3®, Polímero de Tercera Generación, líder comprobado en la industria de fluidos de estabilización de suelos

Expertos en

Trabajos de cimentaciones marítimas



Proyectos de estabilización de suelos a nivel internacional en:

Aeropuertos


Puertos


Autopistas


Centrales térmicas


Alta velocidad


Edificios y estacionamiento


MADRID
Centro de Empresas
Avda. Vía Láctea, S/Nº, Local25
28830 San Fernando Henares
Madrid - España

Teléfono: +(34) 91-277-3179
Fax: +(34) 91-291-9776

LONDRES
81 Oxford Street
London W1D 2 EU
United Kingdom

Teléfono: +(44) 20-7903-5109
Fax: +(44) 20-7138-2564

ÁMSTERDAM
Kingsfordweg 151
1043 GR Amsterdam
Holanda

Tel: +31(0)20 491 7753
Fax: +31(0)20 491 9090

LISBOA
Alameda dos Oceanos,
Lote1.02.1.1, T22
1990-203 Lisboa
Portugal

Teléfono: +(351) 21-099-2600
Fax: +(351) 21-099-2602

NUEVA DELHI
64, NOIDA, NCR
Gautam Buddha Nagar, Uttar
Pradesh
201301 - India

Tel: +91 120 4322997
Fax: +91 22 66459743

KUALA LUMPUR
Lot 2.01 2nd Floor The
AmpWalk
218 Jalan Ampang
50450 Kuala Lumpur
Malaysia

Tel: + 60 3 2163 7222
Fax: + 60 3 2178 4617

email: info@geosoil.com
www.geosoil.com/espana

Utilización de equipos de alto rendimiento para la recepción de explanadas

El presente artículo tiene por objeto exponer la metodología y algunos de los equipos de alto rendimiento que se están utilizando en la recepción de explanadas de carreteras. Se analizan también las experiencias obtenidas en las explanadas de algunas de las obras lineales más importantes en España. En el mismo se describe el equipo de alto rendimiento *Placa Dinámica* y se muestran resultados de su aplicación en algunas de las obras indicadas, presentando los ensayos de contraste que se han realizado con equipos estáticos.

La nueva normativa vigente en España recoge la necesidad de realizar ensayos de recepción de explanadas al finalizar su construcción, además de los habituales ensayos de control de puesta en obra, clasificando las explanadas en función del módulo de compresibilidad y exigiendo, en las categorías de tráfico pesado superiores, una deflexión patrón máxima.

La realización de los ensayos de recepción mediante equipos de alto rendimiento elimina los problemas habituales de frecuencias de ensayos inferiores a las previstas, ya que estos equipos presentan frente a los tradicionales, entre otras ventajas, la posibilidad de disponer de un elevado volumen de datos en un intervalo de tiempo reducido. Esto va encaminado al cumplimiento de la normativa en cuanto a la búsqueda de la homogeneidad en toda la traza.

Introducción

En la actualidad, las tendencias en los trabajos de construcción de las principales obras de infraestructuras van encaminadas a la comprobación del comportamiento real de las unidades de obra ejecutadas, independientemente del proceso constructivo que se haya utilizado, de los materiales empleados, etc. Con ello se pretenden conocer las características del producto terminado, pudiéndose contrastar con las deducidas de los procesos de cálculo teóricos, y buscando asegurar un correcto funcionamiento del conjunto de la infraestructura.

Una adecuada comprobación de las características de la explanada ejecutada requiere la aplicación de equipos de alto rendimiento que proporcionen un elevado volumen de datos en intervalos de tiempo reducidos, sin interferir en el desarrollo de las obras y permitiendo analizar los datos de forma prácticamente inmediata, lo que facilitará la toma de decisiones en el proceso constructivo.

A continuación se presenta el equipo de alto rendimiento *Placa de Carga Dinámica*

que permite caracterizar las explanadas en función de los resultados obtenidos.

Criterios para la recepción de explanadas

La formación de las explanadas de carreteras no escapa a la visión del proceso constructivo indicada en cuanto a la comprobación del comportamiento real de las unidades de obra terminadas. Esta tendencia se plasma tanto en los controles de recepción como en la reciente normativa española que regula estas unidades de obra. Así, la vigente *Instrucción de Carreteras española de secciones de firme* establece, además de las características que deben cumplir los materiales a utilizar en cada explanada, una clasificación de las mismas en función del módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga, obtenido de acuerdo con la norma de ensayo de carga con placa.

En la citada norma se incluye un catálogo de formación de explanadas en el que se presentan diversas combinaciones de materiales de distintas características, dispuestos en capas de diferentes espesores, cuya ejecución con las condiciones de puesta en obra prevista en los *Pliegos de Prescripciones Técnicas* permite asegurar el cumplimiento de los requisitos establecidos para cada una de las categorías de explanadas existentes.

Por lo tanto, la ejecución de las diversas capas que forman la explanada debe estar sujeta a la comprobación de sus condiciones de puesta en obra, lo que se podría denominar como ensayos de control. Una vez finalizada la construcción de la explanada resulta necesario realizar ensayos de recepción de la misma, cuyo objeto es verificar si con la combinación de esas capas en las condiciones de puesta en obra que se han llevado a cabo se ha obtenido el resultado buscado, esto es, un valor mínimo del módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga medido en el ensayo de carga con placa.

Palabras clave: CARGA, CONTROL, ENSAYO, EXPLANADAS, DEFORMACIÓN, MÓDULO, NORMATIVA, PLACA DINÁMICA, TRAZA.



Leonardo BENATOV VEGA,
Consejero Delegado de **EUROCONSULT**

Fernando SÁNCHEZ DOMÍNGUEZ,
Director Técnico de **EUROCONSULT**

José Antonio RAMOS GARCÍA, Director de
EUROCONSULT NUEVAS TECNOLOGÍAS

Por otro lado, en los términos indicados en la normativa aplicable, la comprobación de las características de la explanada debe llevarse a cabo con una frecuencia que implica la ejecución de un alto número de ensayos. Esto, unido a la conveniencia de minimizar la duración de los ensayos para interferir lo menos posible en el desarrollo de las obras y de disponer de los datos de forma prácticamente inmediata para facilitar la toma de decisiones en el proceso constructivo, hace necesaria la utilización de equipos de alto rendimiento.

La creciente inversión realizada en los últimos años en la investigación de nuevos equipos de ensayo está dando sus frutos. Cada vez son más y mejores los equipos de alto rendimiento que se van incorporando a este campo. La ventaja principal de estos equipos consiste en permitir la toma de una gran cantidad de datos en un periodo de tiempo reducido, lo que implica minimizar el esfuerzo y el tiempo respecto a los equipos tradicionales de ensayo, reduciendo el coste de ejecución y la afición al desarrollo de las obras. Por lo tanto representan una alternativa muy importante a los equipos de ensayo tradicionales.

Además, el disponer de una forma rápida y sencilla de un gran número de datos permite realizar un análisis no sólo puntual de los resultados obtenidos sino un estudio global de la explanada ensayada. Se pueden definir una serie de zonas homogéneas sobre las que realizar un análisis estadístico de los datos (debido a que la población de la muestra es elevada) definiéndose unos parámetros representativos de cada zona. Esto nos permite analizar la homogeneidad de toda la explanada, lo que va encaminado al cumplimiento de las recomendaciones de la normativa vigente en cuanto a la búsqueda de la uniformidad de la capacidad estructural de la misma.

La dificultad de lograr una completa homogeneidad de la explanada en la totalidad de la traza de una carretera se ve acentuada cuan-

do es necesario realizar algún tipo de estabilización. Poder contar con datos para evaluar de una forma rápida la capacidad de soporte de la explanada hace más fácil acercarse a la situación teórica deseada, posibilitando modificar las fórmulas o sistemas de trabajo.

Los valores obtenidos, comparados con los que se deberían obtener según la sección teórica planteada, permitirán conocer el estado de nuestro firme en cada momento y actuar a tiempo, siempre que se estime conveniente.

Equipos utilizados para la recepción de explanadas

La determinación del módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga mediante el ensayo de carga con placa estática, es un ensayo lento (en función de los tipos de materiales utilizados en la obra, un ensayo puede durar varias horas) y que requiere medios auxiliares (empleo de camión como reacción), por lo que el número de comprobaciones que habitualmente se llevan a cabo en obra es con frecuencia inferior al previsto, y muchas veces ni siquiera llega a alcanzar unos mínimos representativos que permitan asegurar la calidad de la explanada, que, como es sabido, va a condicionar de manera importante la vida útil del firme.

Por ello, resulta conveniente contar con metodologías alternativas de recepción de explanadas que, utilizando equipos autónomos y de elevado rendimiento, permitan obtener un mayor número de datos y aportar una mejora en la fiabilidad del proceso de recepción. Este es el caso de la **Placa Dinámica** que se describe a continuación.

Placa dinámica

El equipo de placa dinámica tipo *Dynaplaque* desarrollado por el *LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)*, está recogido en la norma francesa *NF P117-2*, y en España en la norma *UNE 103807-1*.

El ensayo se realiza mediante la aplicación, sobre la superficie a ensayar, de una carga dinámica de intensidad y duración definidas. Dicha carga dinámica se produce por la caída de una masa sobre la placa rígida de propiedades físicas conocidas.

El valor del módulo de deformación vertical bajo carga dinámica, se calcula a partir de la relación de *Boussinesq*:

$$E_{vd} = \frac{1-\nu^2}{2r} k \quad (A)$$

Donde:

- E_{vd} [MN/m²] = Módulo de deformación vertical bajo carga dinámica.
- ν = Coeficiente de *Poisson* del suelo.
- k [N/mm] = Rigidez del suelo.
- r [mm] = Radio de la placa.

La *rigidez del suelo* se determina suponiendo que el comportamiento de la placa de carga y del terreno bajo ella es asimilable al de un sistema tipo masa/muelle/amortiguador, por lo que el equilibrio dinámico de la placa se rige por la ecuación:

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + c \frac{dz}{dt} + kz = F(t) \quad (B)$$

Donde:

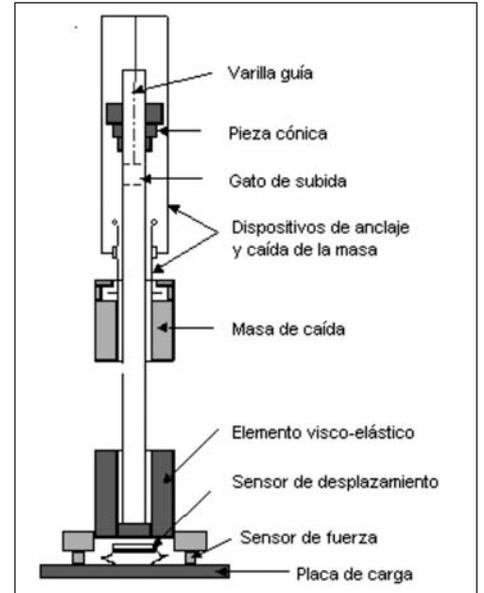
- c [N·s/mm] = Coeficiente de amortiguación del suelo.
- m [mm] = Masa de la placa dinámica.
- $z(t)$ [mm] = Medida del asiento en función del tiempo.
- $F(t)$ [N] = Fuerza ejercida sobre la cara superior de la placa en función del tiempo.

El generador de impactos está constituido por una placa de carga y un dispositivo de carga dinámica.

La carga dinámica sobre el suelo resulta equivalente al paso de un eje de ciento treinta kilonewtons de peso (130 kN) a una velocidad de sesenta kilómetros por hora (60 km/h). En la **Fig. 1**, se muestra el sistema de generación de impactos de la placa de carga.

La placa dinámica (**Fig. 2**) se coloca sobre el terreno y se procede a la aplicación de tres escalones de carga sucesivos sobre el mismo punto. El valor numérico del módulo de deformación vertical bajo carga dinámica que se considera es el obtenido durante el tercer escalón de carga, siempre teniendo en cuenta que el rango de medida del equipo es de 20 a 250 MPa.

Además el vehículo va equipado con un ordenador que procesa toda la información del ensayo y un *GPS* de precisión submétrica que permite conocer el posicionamiento exacto del equipo, lo que facilita de manera sustancial la ubicación exacta de los puntos de ensayo.



[Figura 1].- Generador de impactos de la placa dinámica.

Aplicación de la placa de carga dinámica en la recepción de explanadas

En los últimos años se ha venido utilizando la **Placa Dinámica** en la recepción de las explanadas realizadas en algunas de las obras de infraestructuras de mayor importancia en nuestro país. En este apartado se pretende exponer algunas conclusiones extraídas del análisis de los datos obtenidos. Cabe señalar que este procedimiento se ha empleado en las autopistas radiales de Madrid, en la autovía de circunvalación *M-50*, en las Plataformas de la *Ampliación del Aeropuerto de Barajas*, en el *Ensanche de Vallecas* y en algunos tramos de las *Líneas Ferroviarias de Alta Velocidad* en ejecución, además de en numerosas obras de menor entidad.

Esto ha permitido disponer de muchos datos de correlaciones entre los valores obtenidos con las placas tradicionales y la **Placa Dinámica**. En cualquier caso, por encima de las ecuaciones de correlación obtenidas, la ventaja principal que se obtiene de su utilización, ya co-



[Figura 2].- Placa dinámica.

mentada en este artículo, es el elevado volumen de información disponible sobre la calidad y el comportamiento de la explanada ejecutada, lo que permite detectar las zonas con menor capacidad portante y realizar sobre ellas los pertinentes estudios de detalle que profundicen en las diversas causas que originan los comportamientos no conformes de la misma.

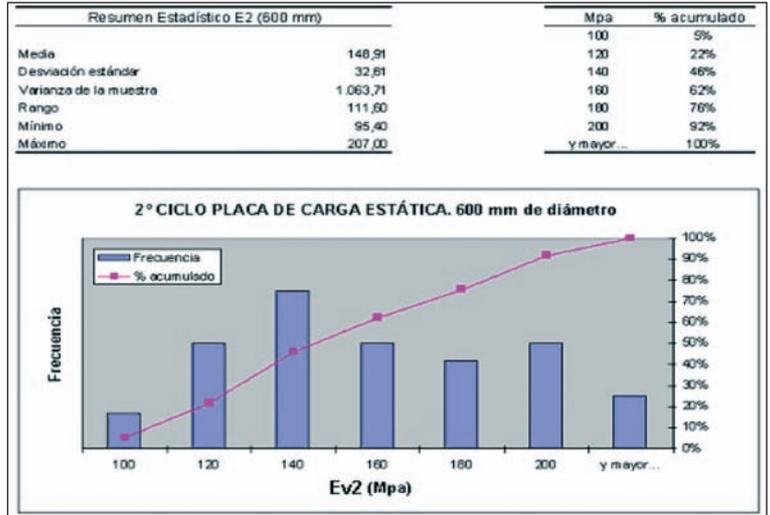
El ensayo se realiza en tres ciclos de aplicación de la carga dinámica, obteniéndose el valor numérico del módulo de deformación vertical bajo carga dinámica E_{vd} , durante el tercer escalón de carga. Dicho valor caracteriza la superficie de ensayo y se utiliza para el análisis del comportamiento de la explanada.

Para la realización de las correlaciones entre los ensayos de carga estáticos y dinámicos no deben perderse de vista los diámetros de las placas utilizadas en el ensayo estático (la placa cuyo uso está más extendido es la de 300 mmØ, en tanto que la **Placa Dinámica** tiene un diámetro de 600 mm). En función del tamaño de placa utilizado, variará el espesor de material cuyas características se están analizando. Las correlaciones han resultado ser ligeramente mejores cuando la placa estática utilizada es de 600 mm.

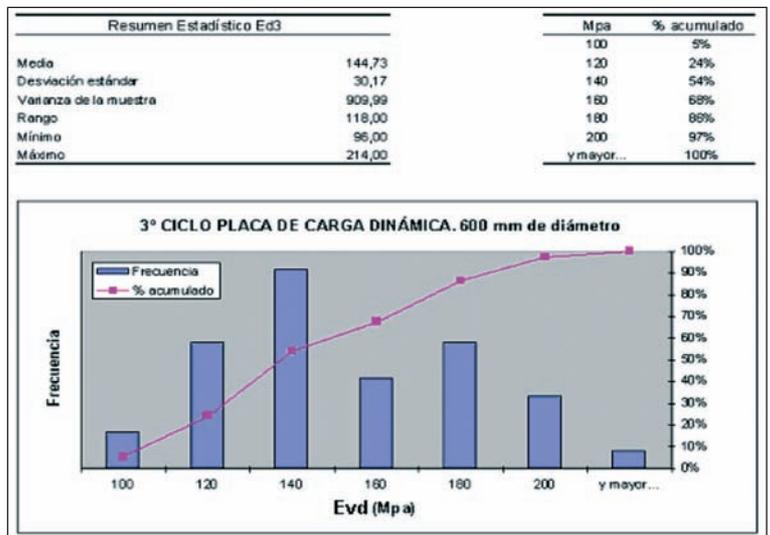
Con la idea de reflejar a modo de ejemplo algunos de los resultados obtenidos, a continuación se recoge un resumen de los datos analizados en la recepción con **Placa Dinámica** de explanadas (o capas de sub-balasto y capas de forma de plataformas ferroviarias) constituidas por materiales granulares.

Observando los tres histogramas representados (Figs. 3, 4 y 5), correspondientes a los módulos de compresibilidad en el segundo ciclo de carga (E_{v2}) con placa de 300 y 600 milímetros de diámetro y al módulo de deformación vertical bajo carga dinámica (E_{vd}) con placa de 600 mm respectivamente, se aprecia bastante semejanza entre los mismos, destacando la existencia de dos poblaciones distintas en cada uno de ellos.

[Figura 4].- **Resumen estadístico de E_{v2} con placa de carga de 600 mm. Materiales granulares.**



[Figura 5].- **Resumen estadístico de E_{vd} con placa de carga de 600 mm. Materiales granulares.**



Análisis estadístico

El objeto de este análisis es establecer si existe una relación entre las medidas del módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga realizadas con placa estática de 600 mm de diámetro y los valores de los módulos de deformación vertical bajo carga dinámica obtenidos en el tercer ciclo de carga mediante el

equipo de **Placa de carga Dinámica** (600 mm). Para mayor sencillez, en adelante se entenderá que las medidas hechas con cada equipo se efectuarán en estas condiciones.

Consideraciones preliminares

Dadas las características de los ensayos estáticos con los que se contrastan las medidas de carga con placa dinámica, no es posible la aproximación clásica de efectuar un número elevado de medidas de una misma muestra con ambos equipos y repetir el ensayo en diversas muestras que sería la manera óptima de determinar la relación entre ambos procesos. Idealmente, para cada muestra diferente, las medidas efectuadas con cada equipo seguirían una distribución normal alrededor del valor medio medido, pudiéndose así determinar las incertidumbres de medida de cada equipo para cada muestra y posteriormente mediante análisis de regresión establecer las relaciones entre las medidas de ambos equipos.

Sin embargo, por las limitaciones de los equipos de medida estática, los ensayos se han realizado muestreando un conjunto de puntos en una explanada, realizando en cada



[Figura 3].- **Resumen estadístico de E_{v2} con placa de carga de 300 mm. Materiales granulares.**

punto tres ensayos con placa dinámica y uno con placa estática. Se han efectuado un total de 108 ensayos de placa dinámica y 36 de placa estática en 36 puntos diferentes de una explanada.

En este caso al contar con un número elevado de muestras diferentes, sobre las que se ha efectuado un pequeño número de medidas con ambos equipos, no es posible un análisis estadístico significativo de cada punto de medida por separado porque las poblaciones son muy reducidas. Se ha tratado pues de extraer la máxima información posible del conjunto total de las medidas efectuadas.

Relación entre ambas medidas

Antes de analizar la relación entre las mediciones efectuadas entre uno y otro equipo se ha determinado mediante pruebas estadísticas (correlación de Spearman) que existe una correlación clara entre las medidas efectuadas con placa estática y cada una de las tres series de datos tomados con la placa dinámica.

Se agrupan pues los datos recopilados en una sola serie de 108 pares de valores, un valor de placa dinámica y uno de placa estática, con tres valores para cada punto de muestreo, efectuando un análisis de regresión lineal por ajuste de mínimos cuadrados.

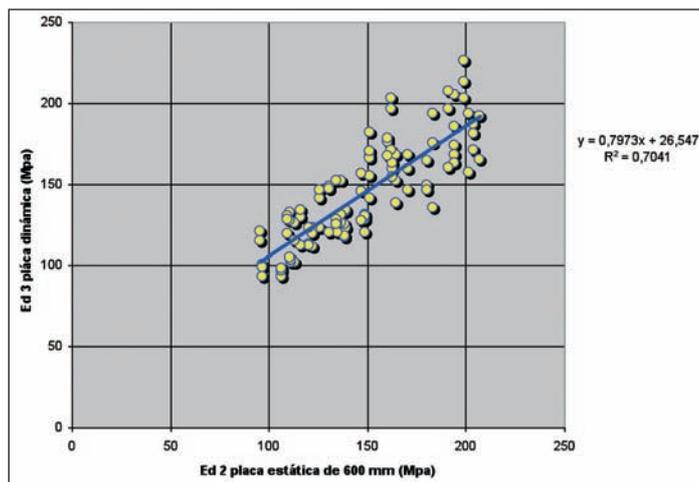
La recta de regresión obtenida (Fig. 6) tiene la ecuación siguiente:

$$y = 0,7973x + 26,547$$

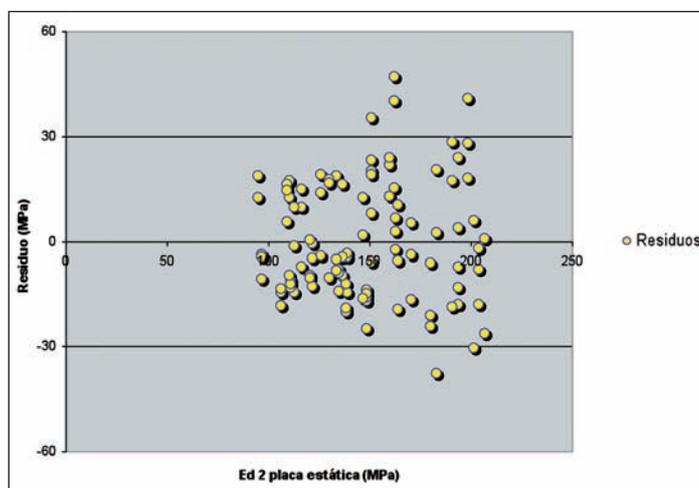
con un valor de R^2 igual a 0,7041.

Para comprobar la validez de la aproximación lineal, se han comparado los valores obtenidos mediante medición con placa dinámica y los que se obtienen a partir de la ecuación de regresión y las mediciones con placa estática. Restando ambas cantidades y representando gráficamente el resultado en función del valor de placa estática, se obtiene un gráfico de residuos (Fig. 7). Esta gráfica permite diagnosticar la bondad del ajuste por mínimos cuadrados. Intuitivamente es fácil ver que si la relación entre ambas cantidades es lineal, la diferencia entre las predicciones del ajuste lineal y las mediciones reales se distribuirá uniformemente alrededor de cero para todo el rango de valores.

Basta observar la representación gráfica de estos valores en función del módulo medido con placa dinámica para constatar que la varianza de los valores de los residuos aumenta



[Figura 6].- Gráfica de regresión lineal entre mediciones con placa estática (Ev2, 600 mm) y placa de carga dinámica (Evd, 600 mm).



[Figura 7].- Gráfica de Análisis de residuos.

muy ligeramente para valores mayores del módulo de placa estática. Sin embargo esta variación es pequeña y además los valores de los residuos se distribuyen simétricamente respecto de su valor medio que es igual a cero. A la vista de estas observaciones queda justificado emplear una relación lineal como modelo para nuestro análisis.

Conclusiones

Tras el análisis de resultados que se ha presentado, queda manifiesta la ventaja que representa el uso del equipo de placa de carga dinámica ya que aportando una gran cantidad de datos permite un tratamiento estadístico riguroso de las medidas recogidas.

Al contar con metodologías alternativas de recepción de explanadas que permiten altos rendimientos con equipos autónomos en obra, como las **Placas de Carga Dinámicas**, se consigue aportar una mejora en la fiabilidad del proceso de recepción de explanadas.

A partir de los resultados obtenidos en este estudio comparativo con los distintos equipos de carga con placa, se puede concluir que, en las

condiciones de ensayo descritas, existe correlación entre los equipos de placa estática y dinámica.

Esta equivalencia entre equipos de placa de carga estática y dinámica está en consonancia con lo recogido en el Catálogo francés de estructuras tipo de carreteras de nueva construcción, en el que se hace referencia a la necesidad de alcanzar unos determinados valores del módulo de deformabilidad para la aceptación y clasificación del terreno ensayado, independientemente de los equipos (estáticos o dinámicos) utilizados en el ensayo.

Bibliografía

- (1) M^o DE FOMENTO. D.G. DE CARRETERAS (2003). **Secciones de firme. Instrucción de Carreteras. Norma 6.1-IC.** Madrid: Dirección General de Carreteras. Centro de publicaciones.
- (2) CHASSAING P., CORTÉ J.-F., FROUMENTIN M. Y SCHAEFFNER M. (1995). **La Dynaplaque 2. Étude d'un nouveau matériel.** Rev. Bulletin des laboratoires des ponts et Chaussées. 195. Janvier - Février 1995. Ref. 3882.
- (3) SERVICE D'ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES (1998). **Catálogo des Structures Types de Chaussées Neuves. Annexes.** Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
- (4) DEUTCHES INSTITUT FÜR NORMEN (1990). **DIN 18134. Plattendruckversuch.** Berlin (Alemania).
- (5) CEDEX (1998). **NLT-357. Ensayo de carga con placa.** Madrid: CEDEX.
- (6) ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (2004). **NF P117-2. Sols. Reconnaissance et essais. Portance des plates-formes. Partie 2: module sous chargement dynamique.** Saint-Denis La Plaine Cedex.
- (7) AENOR (2005). **Norma UNE 103807-1. Ensayo de carga vertical de suelos mediante placa dinámica. Parte 1: Placa rígida, diámetro 2r = 600 mm. Método 1.** Madrid: AENOR.
- (8) SÁNCHEZ DOMÍNGUEZ, F. Y RAMOS GARCÍA, J.A. (2005). **Use of high performance equipment for the reception of road subgrades.** 15th IRF (International Road Federation) World Meeting, June, Bangkok - Thailand.
- (9) HOGG, R. V. AND CRAIG, A. T. (1995). **Introduction to Mathematical Statistics, 5th ed.** New York: Macmillan. □

EUROCONSULT Ingenieros Consultores
 Av. Camino Lo Cortao, 17 • P.E. Sur
 28700 S.S. de los Reyes (Madrid)
 ☎: 902 021 911 • Fax: 916 597 810
 E-mail: euroconsult@euroconsult.es
 Web: www.euroconsult.es



Productividad sin límites



Cualquiera que sea el desafío



Soporte técnico



Le llevamos hasta su destino

En Sandvik, diseñamos equipos de perforación y herramientas que realizan su trabajo de forma excepcional. Pero sabemos que los equipos son sólo parte de los elementos clave que integran un proceso de mayor envergadura. Por ello, en todo momento nuestros especialistas trabajan de forma constante en todo el mundo explorando posibilidades para desarrollar nuevas tecnologías, aplicar su conocimiento sobre las técnicas de excavación de roca y ofrecerle soporte técnico en su trabajo diario. Nuestro objetivo siempre es el mismo: conducirle hacia sus objetivos – a una mayor seguridad, productividad y rentabilidad en su negocio.

SANDVIK ESPAÑOLA, S.A. - División Minería y Construcción
C/ Tapiceros, 9 - Parque Empresarial Puerta de Madrid Este
28830 San Fernando de Henares (Madrid)
Tel. +34 91 660 5232 - email: mineriyconstruccion.es@sandvik.com
www.sandvik.com

EXPO_MATEC

24-28 de Mayo de 2011

VISÍTENOS EN EL STAND 9E02

SANDVIK



Conquiste la excelencia

Para ser el primero en su sector, tiene que disponer de lo mejor, bien se trate de sus equipos o bien de tecnología en sus procesos de producción. En Metso sabemos lo que necesita para optimizar su rendimiento y obtener los mejores resultados y no nos detendremos hasta que usted logre sus objetivos.

En todos nuestros equipos encontrará la máxima calidad, larga vida útil y tecnología punta.

Usted puede confiar en Metso.



Metso Minerals España, S.A. C/ Rivas 4 - 28032 Madrid. Tel. +34 91 8255700 Fax. +34 91 8255740 e.mail: minerals.info.es@metso.com www.metso.com/es

A.C.
MAQUINARIA S.L.

VENTA, ALQUILER Y REPARACIÓN
MAQUINARIA DE PERFORACIÓN

Nos vemos en
EXPOMATEC

- Especialistas en maquinaria de micropilotes.
- Adecuación a las normas RD 1215/97 en máquinas sin Certificado CE.
- Reparación de martillos de rotopercusión de todas las marcas.
- Stocks de repuestos de martillos y máquinas.
- Suministro de materiales de perforación.
- Reparaciones de calderería.
- Reparaciones eléctricas.

Servicio Técnico Oficial



C/ Bronce, 28
28510 Campo Real (Madrid)
Tels.: +34 91 876 51 81 / +34 91 876 51 14
Fax: 901 707 808
acmaquinaria@acmaquinaria.com

Efecto negativo del empleo de redes ASM de anillos de alambre de acero en la estabilización de taludes

Antes de comenzar a explicar cuales son los criterios técnicos que imposibilitan que la red de anillos de alambre de acero se emplee como membrana de reparto de cargas en los sistemas de estabilización de desmontes, es necesario hacer hincapié en los conceptos que permiten la clasificación de las soluciones geotécnicas mediante membranas flexibles de acero.

Existen varias formas de clasificación de las soluciones, algunos autores hablan de dividir las soluciones en *pasivas* o *activas*, considerando el modo de actuación. En general, se suele denominar *activa* a la solución que presupone contacto directo con la superficie y *pasiva* a las de contacto indirecto; sin embargo, este tipo de denominación, sin duda se presta a confusiones, ya que las soluciones geotécnicas de estabilización, también pueden ser pasivas o activas en función de la forma en que actúen los anclajes que la fijan al terreno (pretensados con zona libre y bulbo o inyectados en toda su longitud sin tensión).

Resulta práctico y más comprensible, hacer una clasificación diferente de las soluciones teniendo en cuenta la función para la cual están destinadas (Luis Fonseca, R., 2002), quedando de esta forma establecidos dos grandes grupos: **sistemas de protección** y **sistemas de estabilización**.

Protección

Son todas aquellas medidas que se realizan con el objetivo de resguardar un objeto o infraestructura concretos, su principal característica es que se permite la caída o desprendimiento de los materiales y los que se intenta es evitar que lleguen a la zona a preservar, guiándolos, deteniéndolos o mitigando su energía. En este grupo se encuentran, *las galerías de hormigón, las barreras estáticas y dinámicas, muros de protección* de varios tipos, que se colocan en la trayectoria de bloques de roca o torrentes de detritus en su paso por las laderas

Estabilización

Son todas la medidas que se ejecutan *in situ* sobre la cara del desmonte o ladera y que permite evitar que los materiales que las componen se pongan en movimiento, y su objetivo fundamental es el aumento del factor de seguridad, frente a deslizamientos de cualquier tipo.

El presente artículo tiene la finalidad de exponer los criterios técnicos que imposibilitan que la red de anillos de alambre de acero se emplee como membrana de reparto de cargas en los sistemas de estabilización de desmontes.

Palabras clave: ALAMBRE, ANCLAJE, ANILLO, DEFORMACIÓN, DESMONTE, ENSAYO, ESTABILIZACIÓN, MEMBRANA, PROTECCIÓN, RED ASM, RESISTENCIA, ROTURA.

 **Roberto J. LUIS FONSECA***, Dr. ICCP;
Julio PRIETO FERNÁNDEZ*, Ing. Minas;
Carlos RAIMAT QUINTANA*, Geólogo;
Alberto SANZ ALVAREZ**, Ing. Minas.

(*) **GEOBRUGG IBÉRICA, SAU**
(**) **PROYECTOS RAYMAR 2005, S.L.**

Se caracterizan por utilizar un sistema de anclajes que es quien define si las soluciones son *activas* o *pasivas*. En este gran grupo están las tradicionales soluciones de recubrimiento superficial básico, las construcciones rígidas, pantallas de micropilotes, vigas y muros de hormigón anclados, gunitas claveteadas (soil nailing), tierra armada, muros jardineras, jaulas o verdes, así como las modernas soluciones flexibles con membranas de acero de alto límite elástico. Las barreras de control de aludes de nieve, son elementos de estabilización pues se colocan en las cornisas de los montes y su objetivo es estabilizar la nieve, y evitar que se desprenda.

Establecida esta clara diferencia conceptual necesaria, queda claro que cuando se propone dar soporte a un desmonte o talud, mediante una carga estabilizadora en kN/m^2 –como es en el caso que nos ocupa–, sin duda se está hablando de *estabilización*. La técnica de estabilización presupone aportar un **FS geotécnico** al talud o desmonte *in situ*, evitando que se mueva de forma total o parcial; en ningún caso se puede hablar de desprendimientos ni caída de bloques, ni mucho menos de energía potencial de un posible desprendimiento pues el objetivo es estabilizar no proteger.

La fuerza estabilizadora aplicada en una superficie, no es únicamente responsabilidad de la membrana (red/ o malla), sin duda es imprescindible definir un patrón de anclajes para po-

der establecer el soporte en kN/m^2 . **El soporte en kN/m^2 no es una propiedad de la membrana, es una característica del sistema.**

Una membrana es capaz de aportar soporte al terreno, bajo una determinadas condiciones de anclaje, por este motivo si resulta atinado definir la capacidad de todo el conjunto (sistema membrana, anclajes y cables de reparto) en kN/m^2 , a la par resulta inconsistente hablar de soporte en kN/m^2 para referirse únicamente a la malla/red. Lo correcto es definir la resistencia de la malla/re por su capacidad resistente a tracción directa kN/m , que es un parámetro independiente del patrón de anclaje y por lo tanto una característica que solo depende de malla/red (geometría, cantidad y calidad de acero).

La caracterización de una malla o red en kN/m^2 es una práctica desafortunada, que se debía erradicar, ya que tiende a confundir al técnico responsable de tomar decisiones.

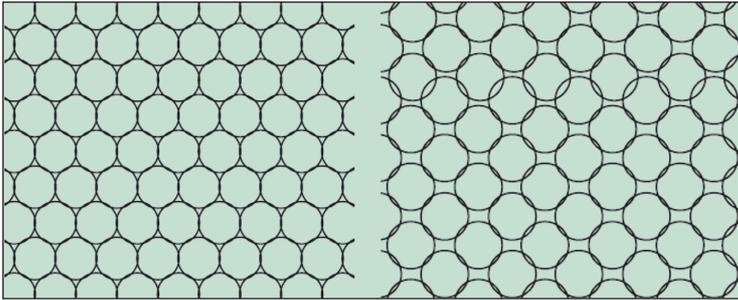
De cualquier manera es importante explicar que la resistencia de una membrana ante las sollicitaciones a tracción, no es un secreto, ni mucho menos un dato que únicamente se puede obtener de los ensayos de laboratorio, esta propiedad es calculable partiendo, tal y como antes se señalaba, de la geometría, la cantidad y calidad del acero. Siendo imprescindible el número de nodos de transmisión de cargas por metro lineal.

Caracterización objetiva

A continuación se pasará a realizar una descripción de las propiedades que se señalan como ventajas para comercializar la red de anillos, con el objeto de clarificar algunos puntos que no quedan visiblemente expresados y que pueden ocasionar confusiones.

Ausencia de zonas débiles de la red

En cierto que las redes de anillo en general son muy potentes y que dada su configuración aportan una enorme flexibilidad, trabajan de conjunto y son ideales para soportar impactos de alta energía, ya sea de forma concentrada o distribuida, su resistencia está condicionado por el tipo de alambre o cable a utilizar (diámetro total o número de vueltas), así como por la calidad del sistema de unión-conformación. El estudio de más de medio siglo de las propiedades de este material ha demostrado que la configuración 6:1 tiene el inconveniente que en



■ [Figura 1].- Configuración de anillos 6:1 y 4:1 (Geobrug Rocco®).

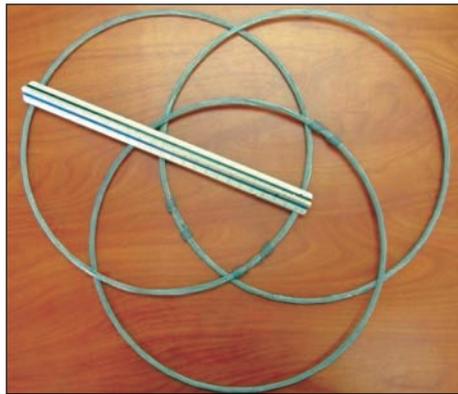
el momento en que se rompa un anillo los 6 vecinos quedan inútiles, luego, mientras que si se emplea 4:1 (Geobrug Rocco®), solo se inhabilitarían 4, por lo tanto el tamaño del orificio sería menor (Fig. 1).

En el caso de las redes Spider®, Tecco®, QuaroX® y DeltaX®, se produce la rotura en el límite, aun cuando el ensayo se realice con elementos seccionados, por lo tanto no presupone ninguna pérdida de la capacidad de trabajo, se han realizado numerosos ensayos que demuestran que los valores de resistencia se mantienen constantes, en ensayos realizados con uno o más alambres previamente seccionados (unraveling test).

Resistencia

La resistencia de una red de anillos (malla concatenada) NO coincide con la resistencia de un anillo. En el Test Report No. 12145/83 elaborado por el Laboratorio de Resistencia de Materiales y Estructuras de la Universidad de Trento. Se hacen varias series de ensayos, primero a los anillos independientes, luego a una serie de tres y finalmente a toda la membrana (Fig. 2).

Los resultados de los ensayos sobre anillos individuales con un cilindro de 100 mm, para el material objeto de comparación -alambre 2 mm, con anillos 300 mm y cierre curl (enroscado), la carga de rotura varía en el entorno de 56,4kN hasta 62,7kN. Más adelante se muestran los resultados del ensayo con tres anillos concatenados, la carga de rotura varía en el entorno de 29,3 kN hasta 31,7 kN. Es decir que se reducen a la mitad los valores de resistencia, respecto a los ensayos realizados a ani-

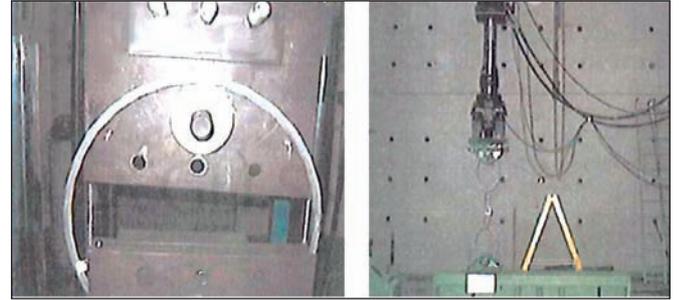


■ [Figura 2].- Detalle de la red de anillos que se comercializa en España..

llos individuales, lo que desmiente que la resistencia de un anillo es igual a la resistencia de la malla completa (Fig. 3).

En este informe se expresa que la red de anillos (300 mm/ 6:1/ alambres de 3 mm) soporta a rotura 90 kN/m² (813 kN/ 9), pero esta no es la red que normalmente se oferta. Por otra parte se expone que la red de anillos (300 mm/ 6:1/ alambres de 2 mm) resiste a cargas superficiales de 65,26 kN/m² con FS =1,67; sin embargo, los gráficos dejan claro que el valor real es (349/ 9) 39 kN/m², para llegar a los 109 kN/m² que se describe el patrón de anclajes tendría que ser de 3,2 m² (unos 1,5 x 2,1 m²).

En el citado informe de la Universidad de Trento, en la Tabla 3b de la pagina 9, ensayos 9 y 10 de 2007, aparecen las cargas máximas obtenidas en el ensayo de la membrana completa, de estos resultados se puede deducir de forma simple el soporte máximo (rotura) y de tra-



■ [Figura 3].- Ensayos de laboratorio a uno y tres anillos.

bajo (FS =1,67) que se consigue con la malla de anillos de 2 mm objeto de comparación.

La presión o soporte de rotura (FS =1) se calcula a partir de la máxima carga vertical (kN) dividida por el área del paño de red de anillos, luego:

$$S_{rotura_test\ 9} = 343,6 / (3,35 \times 3,34) = 30,7 \text{ kN/m}^2$$

$$S_{rotura_test\ 10} = 417,9 / (3,35 \times 3,34) = 37,3 \text{ kN/m}^2$$

El soporte de trabajo para los caso anteriores se corresponde con el 60% de valor de rotura (equivalente al FS =1,67)

$$S_{servicio_test\ 9} = 0,6 \times 30,7 = 18,4 \text{ kN/m}^2$$

$$S_{servicio_test\ 10} = 0,6 \times 37,3 = 22,4 \text{ kN/m}^2$$

En esta misma Tabla 3b se hace referencia a los ensayos realizados a la malla de anillos de igual composición pero de 350 mm, ensayos 13 y 14 de 2007, aparecen las cargas máximas obtenidas en el ensayo de la membrana completa (ver Fig. 3). De igual forma que para la red de anillo de 300 mm de diámetro, la presión o soporte de rotura (FS = 1) se calcula a partir de la máxima carga vertical (kN) dividida por el área del paño de red de anillos, luego:

$$S_{rotura_test\ 13} = 342,8 / (3,30 \times 3,34) = 31,1 \text{ kN/m}^2$$

$$S_{rotura_test\ 14} = 355,8 / (3,29 \times 3,35) = 32,3 \text{ kN/m}^2$$

El soporte de trabajo para los caso anteriores se corresponde con el 60% de valor de rotura (equivalente al FS = 1,67)

$$S_{servicio_test\ 13} = 0,6 \times 31,1 = 18,7 \text{ kN/m}^2$$

$$S_{servicio_test\ 14} = 0,6 \times 32,3 = 19,4 \text{ kN/m}^2$$

Test number	Panel denomination	Wire diameter [mm]	Ring diameter [mm]	Panel type	Closing type	Panel dimensions l _x x l _y [m]	Centre distances between pins l' _x x l' _y [m]	Average net preload [kN]	Maximum vertical load [kN]	Maximum side reaction [kN]
1 2007	PRA 4in1 D250 2 7 R-1 (A,B)	2	250	4 in 1	curl	3.14 x 3.14	3.37 x 3.37	11.4	341.0	555.7
3 2007	PRA 4in1 D250 2 7 R-2 (A,B)	2	250	4 in 1	curl	3.13 x 3.12	3.36 x 3.37	6.9	349.8	568.5
4 2007	PRA 6in1 D250 2 7 R-1 (A,B)	2	250	6 in 1	curl	3.19 x 3.15	3.36 x 3.37	6.0	511.8	783.0
5 2007	PRA 6in1 D250 2 7 R-2 (A,B)	2	250	6 in 1	curl	3.12 x 3.17	3.36 x 3.37	5.0	397.9	658.3
13 2006	PRA 4in1 D300 2 7 R (A,C)	2	300	4 in 1	curl	3.04 x 2.93	3.33 x 3.32	7.0	233.3	352.5
8 2007	PRA 4in1 D300 2 7 R (A,B)	2	300	4 in 1	curl	2.87 x 3.30	2.87 x 3.36	7.2	296.9	471.4
9 2007	PRA 6in1 D300 2 7 R-2 (A,B)	2	300	6 in 1	curl	3.26 x 3.14	3.35 x 3.34	6.4	343.6	592.9
10 2007	PRA 6in1 D300 2 7 R-1 (A,B)	2	300	6 in 1	curl	3.26 x 3.16	3.35 x 3.34	4.2	417.9	699.5
11 2007	PRA 4in1 D350 2 7 R-2 (A,B)	2	350	4 in 1	curl	3.16 x 3.14	3.35 x 3.34	11.9	311.6	564.4
12 2007	PRA 4in1 D350 2 7 R-1 (A,B)	2	350	4 in 1	curl	3.13 x 3.13	3.37 x 3.35	10.1	295.2	523.2
13 2007	PRA 6in1 D350 2 7 R-2 (A,B)	2	350	6 in 1	curl	2.96 x 3.06	3.30 x 3.34	5.9	342.8	593.0
14 2007	PRA 6in1 D350 2 7 R-1 (A,B)	2	350	6 in 1	curl	2.94 x 3.14	3.29 x 3.35	9.8	355.8	645.9

■ Tabla 3b de la página 9, ensayos 9 y 10 de 2007, (Report No. 12145/83 Universidad de Trento).

Como se puede apreciar de los resultados de laboratorio aportados y bajo las condiciones de trabajo o servicio, requeridas en este tipo de solución ($FS = 1,67$), la capacidad de soporte necesaria no sobrepasa los 20 kN/m^2 , queda demostrado que la membrana de anillos (6:1/ alambre/ 2 mm/ costura *curl* de 300/ 350 mm de diámetro) anclada en $3 \times 3 \text{ m}$ no alcanza valores de soporte por encima de los citados 20 kN/m^2 .

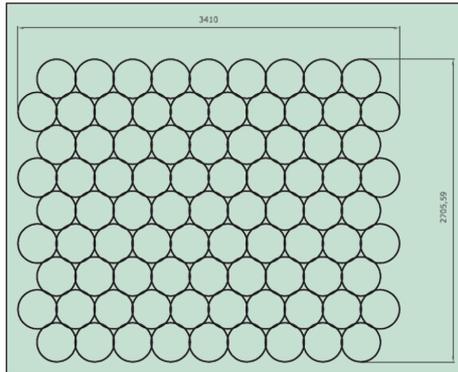
Deformabilidad, deflexión o elongación

Esta propiedad es muy positiva en este producto (red de anillos) cuando se utiliza como parte de sistemas de protección contra desprendimientos donde la capacidad de absorción está regulada por la deformación del sistema, se trata de absorber energía (área debajo de la curva esfuerzo-deformación).

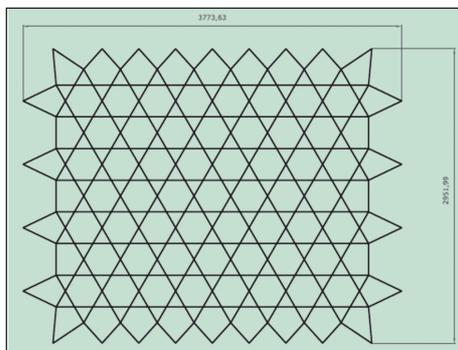
En este caso se habla de deformabilidad como la capacidad *óptima* de ajustarse a una masa rocosa (terreno irregular). Lo cual es malo siempre y cuando no esté asociado como en este caso a una gran deformación. Teniendo en cuenta los resultados aportados de análisis deformacional teórico, el valor de la deformación DZ es de $0,605 \text{ m}$ en el centro tanto en $2D$ como en $3D$ (Fig. 4). Sin embargo, hay que realizar demás consideraciones de carácter práctico, la forma de trabajo de la malla en los extremos que hace que la deformación máxima en el centro, alcance valores ligeramente por encima (Fig. 5).

Tras un estudio geométrico realizado sobre la red de anillos de referencia ((6:1/ alambre/ 2

mm/ costura *curl* de 350 mm de diámetro) se obtienen los resultados de los gráficos de las Figs. 6 y 7.



[Figura 6].- Posición inicial de la red de anillos antes de ponerse en funcionamiento (ensayo).



[Figura 7].- Posición final de la red de anillos una vez terminado el ensayo.

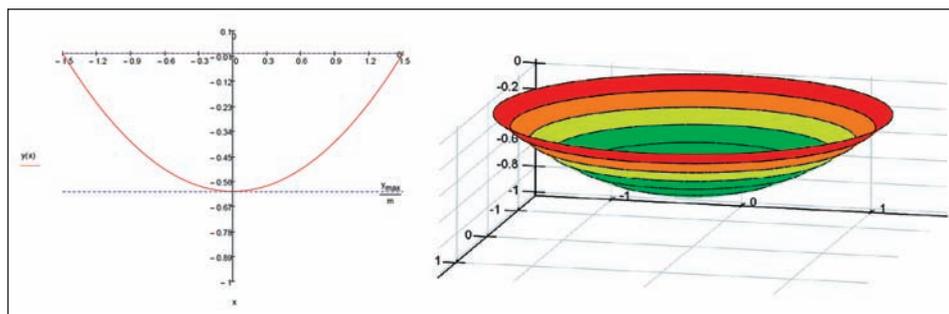
Como se puede apreciar en los bordes, la deformación que se produce en el momento en que la red soporta más carga, justo antes de la rotura, en los extremos la deformación es mayor y los anillos que en el interior devienen en hexágonos, en los bordes se convierten en polígonos irregulares de 4 y 5 lados de diferentes tamaños tal y como se aprecia en la propia fotografía de ensayo de la Fig. 8.



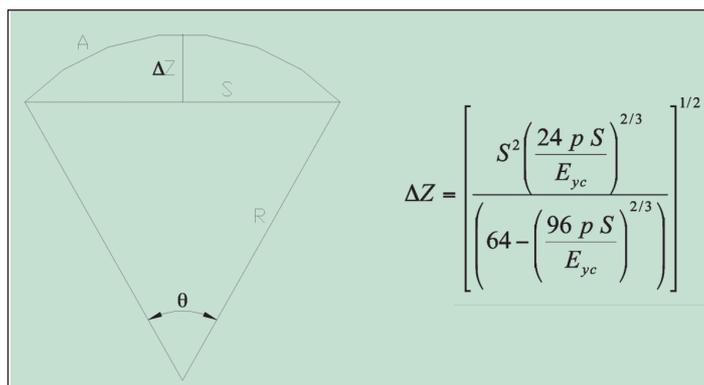
[Fig. 8].- Fotografía de la deformación final de la malla sometida a ensayo en la Universidad de Trento.

En función de la distancia entre anclajes, existirá una variación entre la cuerda y el arco, que en fin de cuentas es quien provoca la deflexión al centro de la red. A continuación, en la Fig. 9 se tabulan y grafican los resultados del análisis geométrico.

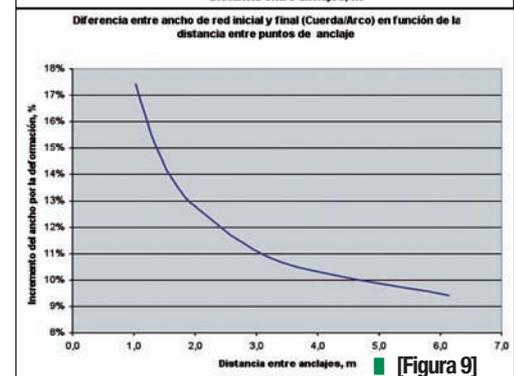
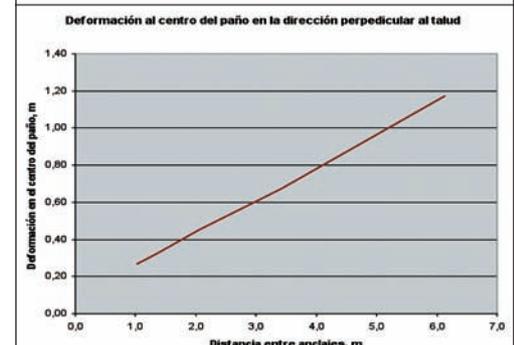
Ancho inicial S (cuerda) [m]	Ancho final A (arco) [m]	Diferencia [%]	Deformación en el centro del paño DZ [m]
1,030	1,209	17,42%	0,269
1,370	1,576	15,03%	0,328
1,710	1,941	13,52%	0,390
2,050	2,310	12,69%	0,450
3,410	3,774	10,66%	0,669
6,129	6,706	9,41%	1,172



[Fig. 4].- Gráficos del análisis en 2D y 3D de la deformación teórica máxima en la dirección vertical.



[Figura 5].- Esquema y expresión del valor de la deformación DZ en el centro para un cilindro, motivada por la diferencia entre el arco y la cuerda (A y S).



Estabilización

La diferencia entre la longitud inicial del lado y la deformada, se mueve entre un 20% para distancias entre anclajes de alrededor de un metro, hasta 9,5% para distancias entre barras del orden de los 6m, siendo aproximadamente 11% para la distancia entre anclajes que nos ocupa, esta elongación ocasiona una deflexión en el centro del paño de 0,70m, ligeramente superior, al valor teórico antes señalado, producto de la consideración del efecto negativo en los extremos. Este valor sigue siendo teórico pues presupone la acción de una carga uniformemente distribuida. Si por un casual se desliza una cuña intermedia la carga será puntual y podría provocar deformaciones muy superiores (ver a continuación ejemplo de aplicación de una barrera dinámica), **Fig. 10**.



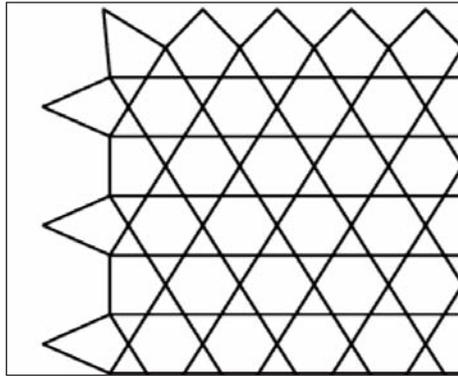
[Fig. 10].- Efecto de una carga concentrada al centro de un paño en una barrera dinámica Geobrugg RXI de protección contra desprendimientos, deflexiones del orden de los 7,5m en paños de 6mx10m (red anillos Rocco 4:1).

Por todo lo anteriormente explicado y argumentado, se puede afirmar que las redes de anillo, por su nivel de deformabilidad, NO son aptas para aplicar como parte de sistemas de estabilización del taludes. Justamente motivados por esta característica, Geobrugg ha desarrollado las membranas romboidales (**Tecco**[®], **Spider**[®], **DeltaX**[®] y **QuaroX**[®]), que en el límite no son más que redes anulares a las cuales se les ha corregido la deformación en fábrica. Es decir una red de anillos tiene que acumular una excesiva deformación hasta que se logra convertir en una red romboidal.

Con certeza, este nivel de deformación imposibilita totalmente la aplicación soporte activo al terreno, mientras que en el caso de soluciones pasivas, el material inestable se desplazará y convertirá en muy peligroso.

Isotropía de la red

A pesar de que la geometría de la red de anillos de referencia (6:1/ alambre/ 2 mm/



[Figura 11].- Diferencia entre los nodos de contacto en la frontera de los paños .

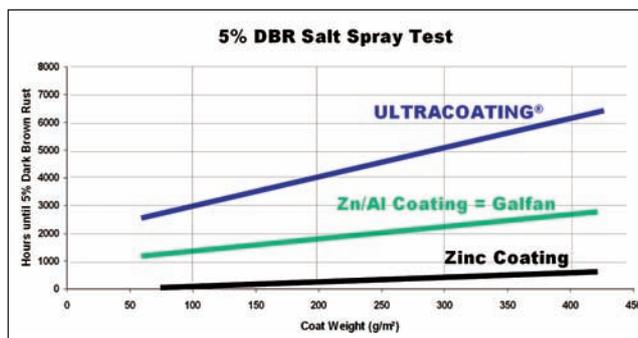
costura *curl* de 350 mm de diámetro), parece aportar una morfología similar en ambas direcciones, cuando se pone en funcionamiento (tensión) tal y como se aprecia, el número de puntos en contacto (frontera) es diferente en X e Y (**Fig. 11**).

Esto a fin de cuentas muestra una cierta anisotropía siendo más resistente la dirección principal que se corresponde con la vertical.

Durabilidad

En los últimos años todos los fabricantes hablan de posibilidades muy diversas de acabados y protecciones, se ha demostrado que el *Galfan* (Zn 95% / Al 5%) es una protección superior al extra galvanizado con Zn. Sin embargo, la red de anillos de referencia no tiene este acabado, se suministra 100% galvanizado al Zn (galvanizado al Zn según EN 10264-2:2002 Clase A). También se expresa la posibilidad de utilizar alambres de acero inoxidable, pero evidentemente este acabado no se corresponde con el producto estándar de referencia.

Recientemente para las membranas tipo (**Tecco**[®], **Spider**[®], **DeltaX**[®] y **QuaroX**[®]) se ha desarrollado una tecnología de protección aun más avanzada consiste en 94,5% de Zn +5% Aluminio + 0,5% aditivo especial , que garantiza una protección que supera las 2,5



[Figura 12].- Gráfico comparativo de los diferentes tipos de acabado.

veces al *GALFAN*, esta protección se ha denominado *Ultracoating*[®] (**Fig. 12**).

Reducción de peso

Uno de los argumentos que se emplea para destacar como positivo de la red de anillos ASM, es su peso reducido. Es cierto que la red de referencia, según el fabricante pesa 2,42 kg/m²; sin embargo, se suele comparar con otras redes que tienen una mayor carga de rotura y por ende una mayor capacidad, tal es el caso del ejemplo que se plantea en la **Tabla II**, donde se puede establecer una comparación entre la red ASM (6:1/350 mm/ 6+1/2 mm) con la **Spider**[®] **G-230 S-4** 3x4 mm.

Membrana Tipo	Peso [kg/m ²]	Resistencia a tracción directa [kN/m]
ASM 6:1/ 350mm / 6+1/ 2mm	2,42	105
Geobrugg AG SPIDER [®] net G-230 S-4 3x4mm	2,70	220

[TABLA II].- Comparación entre características de una red ASM con la Spider G-230 S-4.

Como se observa realmente la diferencia en peso es muy pequeña en el orden del 10%, pero esta comparación carece de importancia, pues no son comparables desde el punto de vista de la resistencia a tracción directa, donde la red romboidal **Spider** duplica a la red de anillos ASM, tal y como se aprecia en la tabla anterior.

Ensayos y Certificaciones

Los ensayos de certificación referidos, que se describen en el *Test Report No. 12145/83* realizado por el *Laboratorio de Resistencia de Materiales y Estructuras* de la Universidad de Trento, realmente sirven para demostrar que no es adecuado el empleo de este tipo de membrana como elemento de reparto transmisión de cargas en un sistema de estabilización de taludes.

GEOBRUGG IBÉRICA, S.A.
 Gomera, 8 - 1B
 28700 S.S. de los Reyes (Madrid)
 ☎ : 916 592 830
 Fax: 916 592 835
 E-mail: info@es.geobrugg.com
 Web: www.geobrugg.com

La obra fue diseñada y realizada por GINESTA en el término municipal de Palafolls (Barcelona)

Tratamiento y estabilización de los taludes originados como consecuencia de la excavación ejecutada para alojar una gran nave industrial

El rebaje de los terrenos necesario para la construcción de una gran nave industrial, originó taludes de hasta 25 m de altura, excavados en un sustrato granítico que presentaba distintos grados de alteración. Debido a la peculiar composición del terreno y a la ausencia de medidas estabilizadoras, se originaron una serie de desprendimientos que obligaron a paralizar los trabajos. Para continuar de forma segura con la ejecución de la obra fue necesario solucionar la problemática surgida, a la vez que se cumplían con unos determinados requisitos derivados de los límites de expropiación de los terrenos y de las necesidades de reducción del impacto paisajístico. La combinación entre técnicas de obra civil y de bioingeniería física resultó una solución completamente satisfactoria que cumplía con todos los condicionantes exigidos.

Para la construcción de una gran nave industrial en unos terrenos situados en el término municipal de Palafolls (Barcelona), se excavó sobre la topografía original una amplia extensión de terreno, aproximadamente 3 hectáreas, obteniéndose como resultado una serie de importantes taludes, de hasta 25 m de altura, en tres de los cuatro laterales que delimitaban la zona excavada.

Iniciados los trabajos de rebaje del terreno, y cuando se había llegado aproximadamente entre 1/3 y 1/2 de la cota final de explanación, se dieron varios episodios de desprendimientos que conllevaron la paralización de las obras debido al peligro que ello suponía para los operarios y la maquinaria que operaban al pie de los taludes.

El presente artículo describe las diferentes actuaciones que se llevaron a cabo para solucionar los problemas de inestabilidad de los taludes de desmonte, asegurando su estabilidad, tanto en la fase de construcción como en la de explotación de la instalación industrial, y cumpliendo con unos requisitos mínimos de integración paisajística del conjunto resultante.

Geología

La zona se encuentra situada en la comarca del Maresme, al pie, desde el punto de vista geológico, de la Cordillera Litoral Catalana, en la zona de dominio litoral mediterráneo. La Cordillera Litoral Catalana está constituida principalmente por rocas graníticas, encontrándose formaciones de pizarras metamórficas del Paleozoico por encima del granito en la vertiente NW.

Palabras clave: DESMONTE, ESTABILIZACIÓN, EXCAVACIÓN, INCLINACIÓN, MURO VERDE, NAVE, ROTURA, SUSTRATO, TALUD, TERRENO.



Carmelo ASENSIO DOZ.

Director Técnico de GINESTA

La presencia mayoritaria de granodiorita con distintos grados de alteración era la tónica dominante en cuanto a la composición del terreno en el área donde se desarrollaron los trabajos, encontrándose inmediatamente por encima de esta un nivel de espesor variable de hasta 3 m de material de suelo vegetal.

Con el objeto de homogeneizar resultados y tratamientos posteriores se dividió la zona excavada en 3 grandes sectores que se correspondían con los 3 laterales excavados.

En la totalidad de los sectores, la disposición de los materiales podía representarse por 2 perfiles característicos, cuya principal diferencia estribaba en la presencia o no de un nivel intermedio de espesor variable de materiales graníticos con un grado de alteración muy elevado. Además, en el sector 2 el sustrato graní-

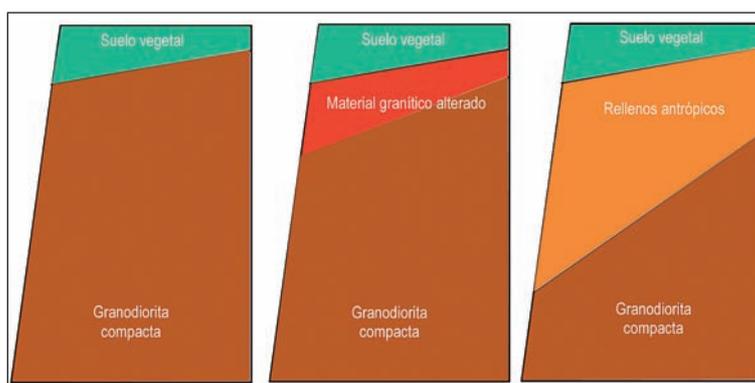
tico formaba una depresión que se había usado como vertedero y que con el paso de los años se había ido rellenando con restos de construcción, escombros y todo tipo de materiales antrópicos (Fig. 1).

Patología de los taludes

Los criterios de excavación utilizados pretendían dar respuesta a todos los condicionantes existentes, límites de expropiación, estabilidad de los taludes e integración paisajística del resultado. Conjugando todo lo anterior, se obtuvo una tipología de taludes subverticales de una veintena de metros de altura, sin plataformas intermedias y que cambiaban su inclinación haciéndola mucho más moderada, en torno a los 45°, en las cabeceras de aquellos taludes que lo permitían.

El macizo rocoso presentaba múltiples planos de fractura que inducían la formación de cuñas y roturas planares, las cuales no representaban tanto peligro por sus dimensiones como por ser un proceso generalizado en la totalidad de los taludes excavados.

Por otro lado, también aparecían inestabilidades en materiales tipo suelo que producían roturas de tipo circular. Estas últimas estaban localizadas en la zona norte del sector 1, donde los materiales graníticos se encontraban muy alterados y presentaban un número mayor de familias de juntas, y en la zona central del sector 2 que se correspondía con la zona que había sido utilizada como vertedero. Las zonas donde se localizaban las roturas tipo circular, contaban con el agravante añadido de la presencia de surgencias de agua.



■ [Figura 1].- Esquema de los principales perfiles representativos.



[Figura 2].- De izquierda a derecha y de abajo hacia arriba, estado inicial de los taludes en el sector 1, zona norte del sector 1, sector 2 y sector 3.

Situación inicial

Tal y como ya se ha comentado anteriormente, los trabajos de excavación tuvieron que suspenderse una vez iniciados debido a los múltiples desprendimientos que ponían en peligro la seguridad de los operarios y de la maquinaria. En la fecha de paralización de los trabajos, la excavación se encontraba, en función de los sectores, a una altura aproximada de entre 1/3 y 1/2 de la cota definitiva de explanación, siendo el sector 1 el que se encontraba más avanzado (Fig. 2).

Medidas adoptadas

Gracias a la experiencia acumulada por GINESTA a lo largo de los años y las obras, y a un proceso continuo de reciclaje, su Departamento Técnico se encuentra al tanto de las últimas novedades del mercado tanto en lo referente a técnicas como a materiales. Fruto de este conocimiento es la capacidad de proponer soluciones integrales a cualquier tipo de problema, utilizando la técnica y los materiales más adecuados, con absoluta independencia de la firma que los comercialice.

Consciente de la magnitud de la problemática presentada, el Departamento Técnico de GINESTA estudió de forma pormenorizada todos los condicionantes con el objetivo de ofrecer una solución. Finalmente se optó por utilizar una solución distinta en función de la inclinación final que debían tener los taludes y de la problemática detectada, de manera que se diesen respuesta a todos los condicionantes existentes.

Los taludes subverticales (Fig. 3), que presentaban roturas planares y formación de cuñas se reforzaron con anclajes de barra de acero Ø32 mm de entre 6 y 9 m de profundidad, dependiendo de la altura con respecto a la cota final de explanación que se encontrasen, distribuidos modularmente siguiendo una cuadrícula de 3 m en horizontal y 2 m en vertical. La superficie de los taludes se recubrió con una capa de

gunita de 15 cm de espesor medio, armada con dos capas de malla electrosoldada de 150x150x6 mm. Esta capa se drenaba mediante una red de mechinales de 1 m de profundidad distribuidos para interceptar las posibles líneas de flujo superficiales según una cuadrícula de 3 m en horizontal y 3 m en vertical, que se encontraba reforzada puntualmente con drenes californianos de 16 m de profundidad conectados a un colector que derivaba las aguas hacia los desagües de las instalaciones de la nave.

Con el objeto de disminuir el impacto visual de los taludes, la gunita proyectada en la última capa contaba con una pigmentación en colores ocres, mientras que al pie de los taludes se introdujo vegetación trepadora que con su crecimiento contribuyera a disimular los grandes paramentos resultantes. Este tratamiento se aplicó sobre una superficie aproximada de 10.000 m².

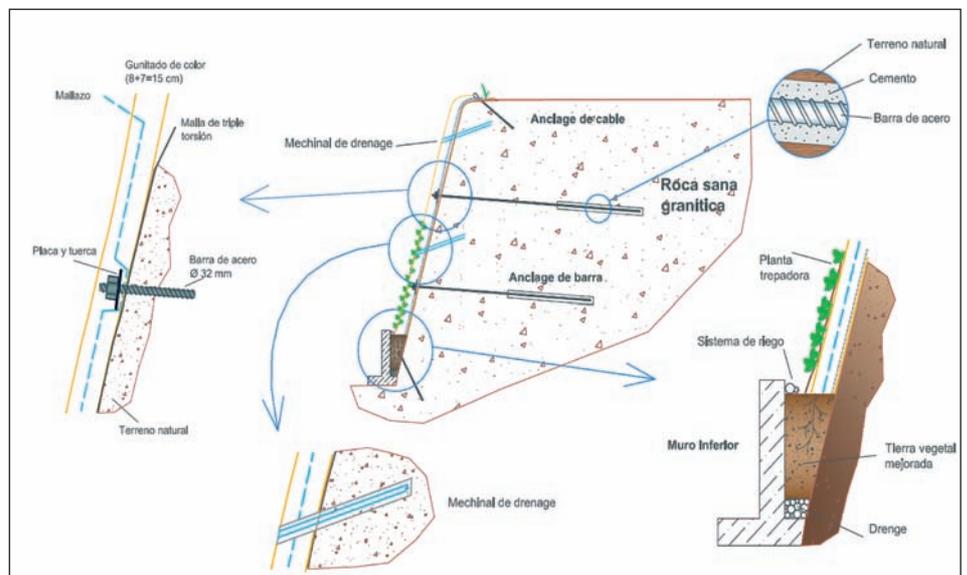
En las cabeceras de los taludes, cuya inclinación oscilaba alrededor de los 45°, se aplica-

ron 2 tipos de tratamiento diferentes sobre una superficie final total de 2.500 m² aproximadamente.

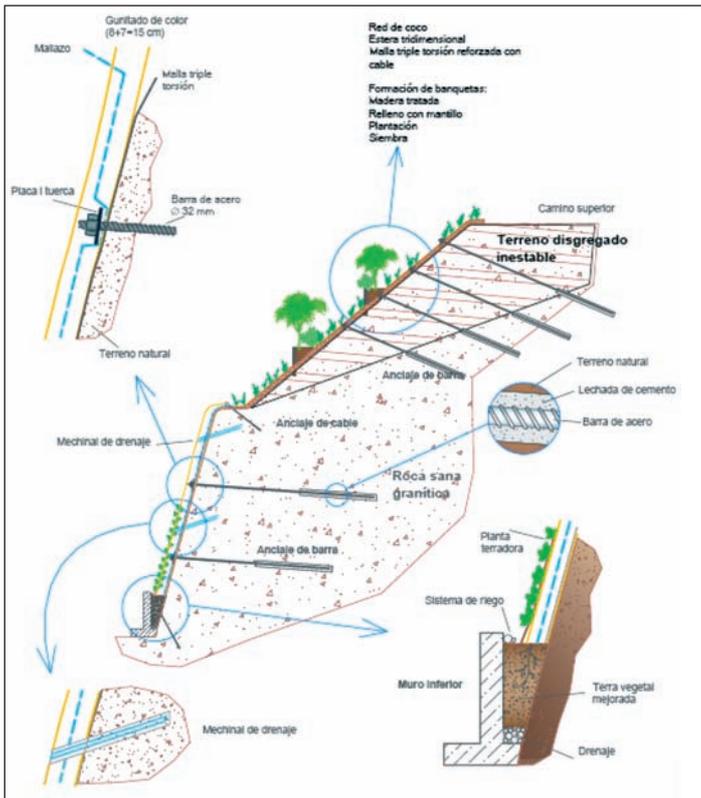
Donde los trabajos de excavación habían dejado al descubierto el nivel más alterado del sustrato granítico, los taludes se reforzaron con el mismo patrón de anclajes utilizado en los taludes subverticales, alargando su profundidad hasta los 14 m en las zonas donde podían desarrollarse roturas circulares. Por otro lado, la superficie de los taludes debía protegerse para evitar la aparición de procesos erosivos que comprometiesen la estabilidad a posteriori de los mismos, por lo que se optó por introducir una cubierta vegetal que además cumpliera con los requisitos de integración paisajística.

Sobre la superficie del talud se instaló una red orgánica de coco biodegradable, por encima de ella una geomalla tridimensional y finalmente una malla metálica de triple torsión, cuyas prestaciones se mejoraron con la disposición de cables de acero galvanizado que conectaban las cabezas de los anclajes entre sí de forma vertical, horizontal y diagonal. Una vez finalizada la instalación del sistema, con la ayuda de una hidrosembreadora se proyectó por toda la superficie un sustrato especial de revegetación, que contenía una mezcla de semillas autóctonas, tierra vegetal, mantillo, turba y estabilizadores orgánicos, hasta rellenar todo el grosor de la geomalla tridimensional (Fig. 4).

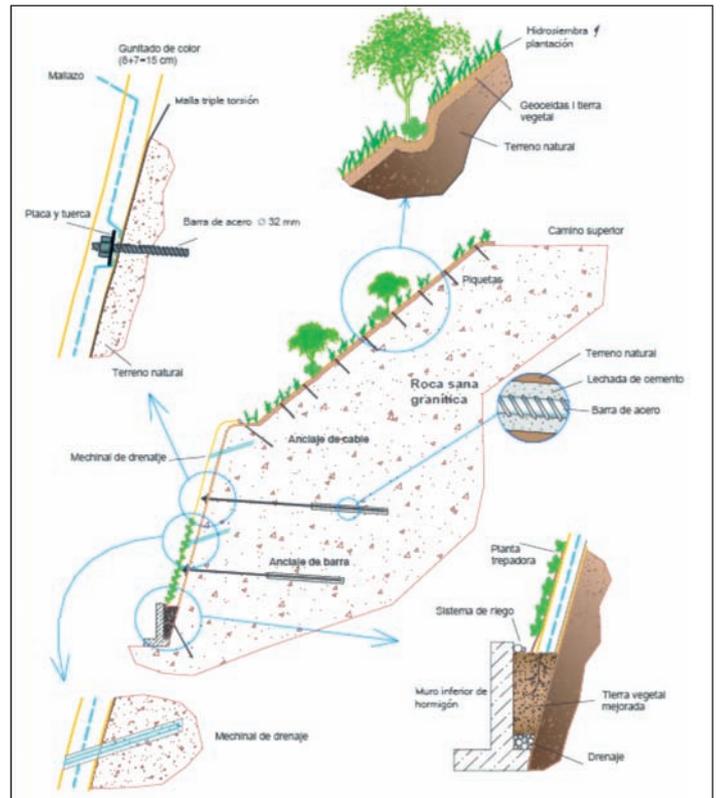
Además por toda la superficie se construyeron una serie de banquetas con madera tratada que posteriormente se rellenaron con tierra vegetal y mantillo, y en las que se introdujo vegetación autóctona mediante la plantación de especies arbóreas y arbustivas y la siembra de semillas.



[Figura 3].- Sección tipo del tratamiento utilizado en los taludes subverticales.



[Figura 4].- Sección tipo cabecera de talud con materiales graníticos muy alterados.



[Figura 5].- Sección tipo cabecera de talud con materiales graníticos compactos.

La red orgánica de yute actúa como reservorio de agua y aporta materia orgánica al suelo conforme se va degradando, lo que contribuye a mejorar la estructura edáfica del terreno. La geomalla tridimensional impide el lavado de los finos y actúa como soporte físico del sustrato de revegetación. Por último, la malla de triple torsión, reforzada con los cables de acero, soporta los empujes del terreno a la vez que actúa como elemento de armado superficial de la vegetación que la atraviesa.

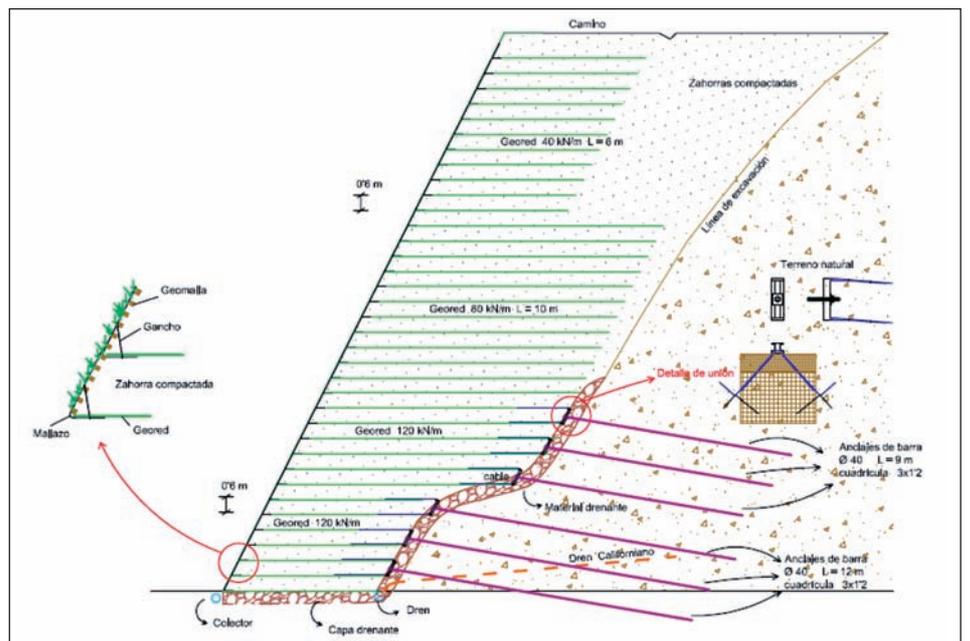
Aquellos taludes cuya cabecera estaba excavada en la granodiorita compacta (Fig. 5), tuvieron un tratamiento similar al anterior, ya que aunque en estas zonas no era necesario reforzar los taludes con anclajes, puesto que su inclinación los hacía completamente estables, la superficie de los mismos debía contar con la cubierta vegetal protectora. Para ello, se decidió instalar unas geoceladas de 15 cm de altura que posteriormente se rellenaron con tierra vegetal y sobre las que finalmente se aplicó una hidrosiembra con semillas agroclimáticamente adaptadas a la zona. Aprovechando las depresiones naturales del terreno, se crearon una serie de banquetas en las que además se introdujo vegetación arbustiva autóctona.

Finalmente, en la zona del antiguo vertedero y debido a la calidad deleznable del relleno acumulado durante años en esta zona, se decidió excavar hasta llegar al terreno estable. Como resultado de esta excavación, el camino perimetral superior que recorría la coronación de todos

los taludes quedaba fuera de los límites de expropiación, por lo que se tenía que rellenar toda esta zona para permitir la construcción de dicho camino perimetral. La alternativa más viable resultó ser la construcción de un muro verde, por razones de índole económica y sobre todo por la reducción en los plazos de ejecución (Fig. 6).

El muro verde resultante contaba con una superficie de unos 1.200 m² y una altura máxi-

ma de 25 m, y durante su construcción se tuvo que ingeniar un sistema para poder asegurar la efectividad en el refuerzo del terreno de las tiras inferiores de geored, de longitud menor a la necesaria debido a las restricciones impuestas por la presencia del zócalo granítico. La solución consistió en la instalación de unos anclajes de barra de acero Ø40 mm siguiendo una cuadrícula de 3 m en horizontal y 1,2 m en vertical.



[Figura 6].- Sección tipo muro verde.



MÚLTIPLES
SOLUCIONES

para la seguridad

y el medio ambiente

- > estabilización de taludes
- > protección de desprendimientos
- > control de la erosión
- > corrección de impacto ambiental

www.ginesta.es

> baró de maials, 20 · alt. 2 [25005 LLEIDA] tel. [+34]973 278 124

> poeta blanco criado, 2-4 local-planta baja [14007 CÓRDOBA] tel. [+34]957 321 712

> pol. ind. arinaga / c. roble, 18 [35118 agüimes] las palmas - CANARIAS tel. [+34]928 122 175

Sistema Integrado de Gestión. N° de certificado: SGI 3050195



En la cabeza de los mismos se instalaba una pieza especial de acero galvanizado que permitía el paso de unos cables, los cuales se unían en varios puntos con las tiras de geomalla aumentando de esta manera su efectividad. La profundidad de los anclajes fue de 12 m para las capas inferiores y de 9 m para las situadas por encima de estas (Fig. 7).

Como consecuencia de una surgencia de agua en la zona, la construcción del muro verde se complementó con la instalación de varios drenes californianos conectados entre sí que desaguaban sobre una capa de material drenante, sobre la que se construyó el muro, que conducía el agua hacia un colector conectado a las instalaciones de la nave.

Para finalizar, cabe destacar que al considerar esta zona como la más desfavorable desde el punto de vista de inicio de algún tipo de movimiento, se decidió monitorizarla instalando 5 inclinómetros, de profundidad comprendida entre 14 y 24 m, que se verían sometidos a un seguimiento mensual durante el primer año y bimensual posteriormente.

Ejecución de los trabajos

Al encontrarse la mayoría de los taludes parcialmente excavados, los trabajos comenzaron por las cabeceras de los mismos con la instalación de forma sucesiva de la red orgánica de coco, la geored tridimensional y la malla de triple torsión, al mismo tiempo que se extendían y fijaban las geoceldas en el resto de cabeceras, procediéndose posteriormente a la perforación e instalación de los anclajes de barra y a la disposición de los cables de refuerzo de la malla. A continuación se construyeron las banquetas que junto con las geoceldas se rellenaron con tierra vegetal, finalizando con la proyección del sustrato especial de revegetación, la aplicación de la hidrosiembra y la plantación de las banquetas, mientras de forma paralela comenzaban los trabajos de refuerzo en los taludes subverticales.

La paralización de las obras de rebaje del terreno durante un largo período de tiempo, como consecuencia de los desprendimientos ocurridos, trajo consigo la progresiva degradación de la superficie de los taludes, los cuales expuestos a las condiciones atmosféricas experimentaron un aumento cuantitativo de los procesos de formación de cuñas y roturas planares. Lo anterior supuso una dificultad añadida a la hora de abordar los trabajos de refuerzo de los taludes, ya que la posibilidad de ocurrencia de nuevos desprendimientos era muy alta. Este hecho unido a la altura que presentaban los taludes, obligó a sustituir la primera capa de malla electrosoldada de la capa de gunita por una malla de triple torsión, con el objeto de aumentar la seguridad de los operarios.



[Figura 7].- Detalles de las piezas especiales de unión entre anclajes y georedes.

A continuación se instalaron los anclajes de barra de acero, se proyectó la primera capa de gunita, se instaló la 2ª capa de malla electrosoldada y finalmente se proyectó la segunda capa de gunita. Las perforaciones se llevaron a cabo con martillos neumáticos rotopercutores habilitados sobre cestas que se suspendían de camiones grúas o se implementaban sobre plataformas elevadoras telescópicas, puesto que todos los trabajos eran en altura.

Una vez reforzados todos los taludes que se encontraban excavados, el procedimiento de ejecución varió, tratándose desde entonces como si de la aplicación de un tratamiento de "soil nailing" se tratase. Se excavaban bataches descendentes de una altura determinada, y variable en función de las características del terreno, que inmediatamente se protegían con una primera capa de gunita para a continuación ejecutar los anclajes, dando paso una vez instalados estos a la finalización del recubrimiento con gunita y armadura.

Cuando los taludes que limitaban los extremos del muro verde se encontraron debida-

mente reforzados se procedió a la construcción del mismo, comenzando por los trabajos previos de excavación. Finalizada la excavación se instalaron los anclajes y la capa drenante inferior y a continuación se construyó el muro propiamente dicho en tongadas de 60 cm de altura las cuales se fueron compactando convenientemente.

El relleno más cercano al paramento exterior del muro se sustituyó por tierra vegetal mejorada con abonos mezclada con las semillas utilizadas en las cabeceras de los taludes, en un espesor de 10 cm, además se introdujeron especies arbustivas y trepadoras de forma alterna entre tongadas. Posteriormente se aplicó una hidrosiembra por toda la superficie del paramento exterior del muro y se instaló un sistema de riego por goteo, necesario para mantener la vegetación durante todo el año, dada la situación geográfica en la que se encontraba la obra (Fig. 8).

Conclusiones

- Teniendo en cuenta el tipo de terreno existente, comenzar los trabajos de reba-



[Figura 8].- Vista parcial de la obra durante la ejecución de los trabajos, en la que se puede apreciar el acabado final de los taludes subverticales y de las cabeceras tratadas con malla de triple torsión reforzada y banquetas, en primer plano, y con geoceldas en la parte superior izquierda.

Estabilización

je del terreno sin haber previsto una solución para estabilizar los taludes resultantes, produjo un importante retraso en las obras y un sobrecoste económico.

- El estudio pormenorizado de todos los condicionantes existentes, junto con su amplia experiencia, permitió a la empresa adjudicataria de los trabajos ofrecer una solución que cumpliera con todos los requisitos exigidos.
- La solución propuesta utilizaba técnicas tradicionales de la obra civil complementadas con técnicas innovadoras provenientes del campo de la bioingeniería física.
- Transcurridos dos años desde la finalización de las obras, la solución propuesta cumple satisfactoriamente con los requisitos exigidos inicialmente en cuanto a la estabilización de los taludes, la optimización de los límites de expropiación y la integración paisajística del conjunto.



[Figura 9]. - Vista parcial del sector 1, izquierda, y sector 2, zona del muro verde, derecha, finalizadas las obras.

Referencias

- AYALA CARCEDO, F.J. ET AL. 1987. *Manual de taludes*. IGME, Madrid.
- ELIAS, V. & JURAN, I. 1991. *Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations*. FHWA, Washington DC.

- FOLCH I GUILLÉN, R. 1981. *La vegetació dels Països Catalans*. Ketres Editora, Barcelona.
- HOEK, E. & BRAY, J.W. 1981. *Rock Slope Engineering*. Elsevier Science Publishers, Cambridge.
- LÓPEZ JIMENO, C. (editor), 1999. *Manual de estabilización y revegetación de taludes*. Entorno Gráfico, S.L. Madrid.
- LÓPEZ VALLEJO, L.I. (coordinador), 2002. *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación, Madrid.

- MARTÍNEZ BOFILL, J. y GODÁS ARRABAL, R. 2007. *Estudio de estabilidad de taludes en el llano de Sant Roquet de Palafròls*.



ginesta

Lleida - 973 278 124

Córdoba - 957 321 712

Canarias - 928 122 175

Web: www.ginesta.es

Equipo Hinca Tubos #2.000mm

Perforadora Rotativa Horizontal #1.500mm

Collares Extractores

Cazos

Equipo Perforador SEGOQUI-2160

Varillaje por fricción

Cabezas de corte

Escañadores para roca y suelos

Triconos (3° - 26°)

Hélices y Sinfines

Tallantes, Martillos y Estabilizadores

Perforadora Geotécnica - Micropilotes SEGOQUI-05

Plantas de preparado de lechada de cemento y bentonita

Hinca de Dientes SEGOQUI THD-20

Talleres Segovia s.l.

Perforadoras para captación de agua, geotécnica y micropilotes.
Equipos de perforación horizontal.
Accesorios, herramientas de perforación y pilotes.
Equipos para inyecciones y jet grouting.

Cañada de Recueros, 14-16 (Polígono Industrial Sevilla)
Apartado 19 - 28946 FUENLABRADA (Madrid) - ESPAÑA
Teléf: (+34) 91 615 44 13 - Fax: (+34) 91 606 84 05
Web: www.tallersegovia.com
E-mail: dsegovia@tallersegovia.com

Tramo: Aguilar de Campoo - Puebla de San Vicente

Integración paisajística de talud en la Autovía A-67

Durante los trabajos de construcción de la *Autovía de la Meseta A-67*, entre Palencia y Santander, se realizaron desmontes en terrenos muy erosionables y con problemas serios de tipo litológico. Uno de estos desmontes, situado a la altura de la localidad de Valoria de Aguilar (Palencia), requería de un tratamiento de control de la erosión superficial debido a su composición geológica, a su morfología y a la presencia de afloramientos de capas freáticas colgadas. Para solucionar el problema del control de la erosión se optó por la instalación de una geomalla volumétrica anti erosión, reforzada con una malla metálica de triple torsión y, en función de la altura del talud, con bulones y cables de refuerzo. Finalmente, con el objetivo de integrar paisajísticamente el talud, se optó por la proyección de sustrato e hidrosiembra repobladora, ya que la disposición del desmonte le hace visible desde varios kilómetros a la redonda resultando muy impactante visualmente. Los resultados resultaron totalmente satisfactorios, puesto que la estabilidad superficial del talud no se ha visto afectada y la integración paisajística ha sido óptima.

La *Autovía de la Meseta (A-67)* une Palencia con Santander, en un recorrido más o menos paralelo a la carretera nacional N-611, que a su paso por la montaña palentina transcurre entre las localidades de Puebla de San Vicente y Aguilar de Campoo.

Las obras fueron adjudicadas a la UTE formada por las empresas *Ascan* (Cantabria) y *Ogensa* (Asturias) que realizó los trabajos desde el 2005 hasta su conclusión en 2009.

Una vez realizados los trabajos de desmonte, se observó la necesidad de solventar el problema erosional que presenta uno de los taludes. Debido a las dimensiones del mismo y su ubicación (visible desde varios kilómetros a la redonda) era necesario aportar una propuesta que fusionara dos soluciones, una de tipo estructural y otra de tipo medio ambiental.

Marco geológico

En la *Fig. 1*, se representa un mapa geológico de los terrenos afectados por la Autovía A-67 desde Palencia a Aguilar de Campoo. Siguiendo la línea trazada en color azul, transcurre principalmente sobre terrenos blandos arcillo-

Palabras clave: CONTROL, DESMONTE, EROSIÓN, ESTABILIDAD, GEOMALLA, HIDROSIEMBRA, IBEROVERDE, INTEGRACIÓN PAISAJÍSTICA, TALUD, TRATAMIENTO.



Pedro BENITO DE LAS HERAS,
Ing. T. de Minas. Dtr. Técnico de
MALLA TALUD CANTABRIA, S.L.

sosmargosos (color amarillo), alternado con zonas de gravas-arenas-limos-arcillas (color blanco) que forman los aluviales de las vaguadas de la red fluvial sobre la que incide.

En la *Fig. 2* se recoge la interpretación geotécnica de los terrenos existentes en el entorno de Aguilar de Campoo, donde figuran representados todos los materiales que afectan al trazado de la autovía.

Según recogen las especificaciones del Mapa Geotécnico General (ver *Fig. 2*) los materiales que afectan principalmente al tramo, son de tipos I_1 e I_2 , que corresponden a:

- I_1 : aluviones y mantos. Materiales permeables, nivel freático próximo, acuíferos superficiales, capacidad de carga media (2-

3 kg/cm²), cimentaciones con asientos de tipo medio. Algún punto con socavón de ríos. Problemas de tipo litológico.

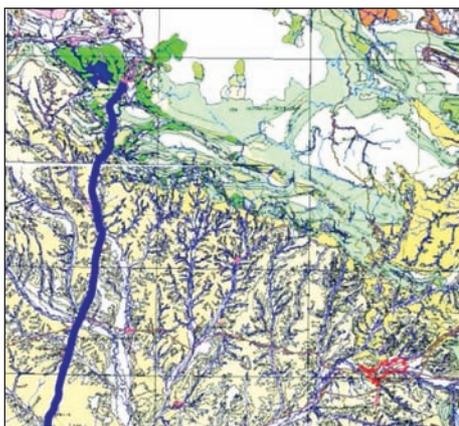
- I_2 : materiales detríticos terciarios. Estabilidad buena, fácil erosión, semipermeables, cargas unitarias medias (2-4 kg/cm²), asientos de tipo medio a largo plazo. Problemas de tipo geotécnico e hidrogeológico.

Descripción del talud

El talud a estudiar tiene unas dimensiones bastante considerables en longitud, ya que se extiende a lo largo de 2,3 km desde Olleros de Pisuerga hasta Valoria de Aguilar, por la margen derecha de la A-67, concluyendo en un área de descaso (*Fig. 3*).

Las alturas varían desde los 6 m hasta máximas de 25 m en las zonas más altas, con un camino de servicio y cuneta de guarda en la cabecera. Para la pendiente de excavación se optó por 60°, puesto que no presentaba problemas de estabilidad de ningún tipo.

Una vez realizada la excavación y superado el primer invierno, se observó que la esco-



[Figura 1].- Mapa geológico general del trazado entre Palencia y Aguilar de Campoo.

[Figura 2].- Trazado superpuesto al mapa geotécnico en el entorno Aguilar de Campoo.





[Figura 3] .- Vista aérea del trazado y zona de afectación.

[Figura 5].- Vista de detalle del talud.

rentía superficial y la presencia de afloramientos de agua provocadas por capas freáticas colgadas, estaba generando graves problemas de arrastre de materiales, principalmente de arenas y materiales finos.

La superficie del talud presentaba numerosos surcos de profundidad variable por donde se canalizaba el agua (canales de desagüe), generando múltiples conos de deyección al pie del desmonte con abundante material acumulado (Fig. 4).

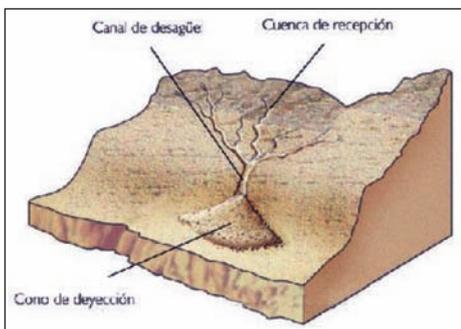
Este fenómeno se acentuaba a medida que aumentaba las alturas del talud generando mayor velocidad en la caída del agua y mayores arrastres (Fig. 5).

Propuestas de tratamiento

Entre las posibles soluciones que se barajaron para atenuar la erosión estaban:

- Mantas orgánicas.
- Georedes.
- Geoceldas.
- Hidrosiembras.
- Combinación de geomallas y mallas de triple torsión.

Finalmente, la Dirección de Obra optó por la instalación de Geoceldas, solución que consiste en la disposición de una estructura de



[Figura 4] .- Esquema del fenómeno de la escorrentía superficial.

panal con celdas entre 75 y 100 mm de ancho, fabricada en polietileno, y anclada al terreno que se rellena con sustrato una vez extendida (Fig. 6).

Durante la instalación del sistema se produjo un periodo corto pero intenso de lluvias que provocó una serie de problemas bastante graves, con arrastres importantes y la formación de embolsamientos de material.

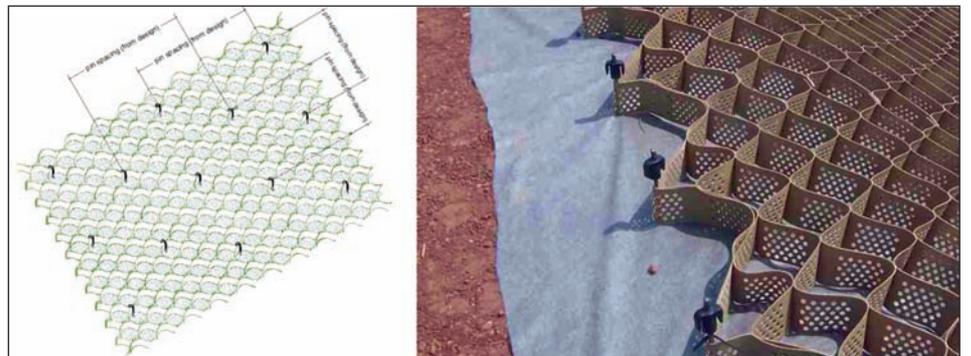
Este tipo de sistema de confinamiento celular funciona una vez se concluye el proceso de relleno de las celdas con el sustrato, por lo

que hasta que no se hubiera concluido el proceso, no se iba a conseguir detener el proceso erosivo.

La superficie total de talud a cubrir se estimaba en unos 16.000 m². Cuando se produjo este contratiempo se llevaba instalado unos 2.500 m².

Otro tipo de consideración a tener en cuenta es que las geoceldas funcionan muy bien en pendientes de terreno no superiores a 45°, apareciendo muchos problemas cuando se superan estos valores, imposibilitándose un correcto relleno de las celdas.

En la Fig. 7, se observa el estado en que quedó el sistema tras las lluvias, con abun-



[Figura 6] .- Esquema y aplicación de geoceldas.



[Figura 7] .- Estado del talud con geoceldas tras el periodo de lluvias abundantes.

dante material al pie, bolsas y cárcavas de consideración.

Una vez estudiado el problema en profundidad y asumiendo lo inviable de la operación con geoceldas, se vuelven a estudiar las otras alternativas, decantándose por un sistema mixto que combina geomallas con mallas metálicas denominado **Iberoverde**.

El sistema **Iberoverde** está especialmente diseñado para la recuperación y estabilización superficial de taludes, donde se producen deslizamientos locales por exceso de humedad de las capas más superficiales expuestas a la intemperie.

Teniendo como objetivo controlar la erosión, se puede ir desde la simple aplicación de una geomalla e ir reforzando el sistema mediante la suma de distintos elementos, malla de triple torsión, redes de cable, perforaciones, cables de refuerzo, etc., según las condiciones de estabilidad del talud.

Las ventajas de **Iberoverde** son:

- Integra la obra en su entorno ecológico-paisajístico.
- Estabiliza geotécnicamente cierto tipo de terrenos poco consolidados.
- Protege con la cubierta vegetal las zonas con riesgo de erosión.
- Crea un entorno agradable a los usuarios de las vías que transcurren a pie de los taludes.

Descripción del tratamiento **Iberoverde** instalado

Por parte de Dirección de Obra se pidió que preparasen distintas configuraciones de **Iberoverde** atendiendo a las necesidades reales del talud. Puesto que la composición geomorfológica del talud se mantenía en toda su longitud, el único factor que variaba era la altura.

Así, atendiendo a la altura del talud en cada tramo se procedió a discretizar superficies y tratamientos en función de este parámetro obteniendo la clasificación del **Cuadro 1**.

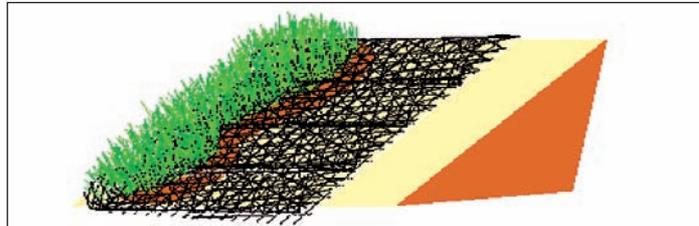
Los trabajos comenzaron con el reperfilado del talud para eliminar las cárcavas y materiales acumulados al pie del talud, para seguidamente montar un espaldón de escollera de 2,50 m de altura en casi toda la longitud del desmonte.

A continuación se instaló una geomalla volumétrica como elemento para detener el proceso erosivo sin interferir en el drenaje natural del terreno. Las características de la geomalla son las que se exponen en la **Fig. 8**.

La geomalla se fijó en toda su superficie mediante piquetas de 50 cm perforadas al terreno en una densidad de una unidad por cada 4 m², realizadas con redondos de acero corrugado de 10 mm de diámetro.

Seguidamente se instaló la malla de triple torsión de alambre de acero de 2,70 mm de diámetro, como elemento de soporte para au-

Alturas (m)	Geomalla antierosión	Malla triple torsión	Bulones	Cable refuerzo
0,00 ≤ h ≤ 6,00	X	X	-	-
6,00 ≤ h ≤ 15,00	X	X	X	-
15,00 ≤ h ≤ 24,00	X	X	X	X



CODICIONES DE ENSAYO DE RESISTENCIA Y ELONGACION

Dinamómetro	INSTRON 4201
Probeta ancho (cm)	4
Velocidad de tracción (mm/min)	100
Distancia entre mordazas (mm)	50

CONTROL DE CALIDAD

Peso (gr/m ²)	340
Dimensiones rollo standard (m)	1,90x25
Resistencia longitudinal (kn/m)	2,5
Grosor (Altura) cm	2-2,5
Polímero (3 mallas termosoldadas 10x10 mm)	HDPE
Elongación (%)	23

mentar la resistencia longitudinal de la geomalla, y evitar que se produjeran roturas por embolsamiento de materiales.

Este tratamiento quedaría definitivo en las zonas con menos de 6,00 m de altura (**Fig. 9**).

En el resto de zonas se prosiguió con las labores de refuerzo, como fueron la realización de perforaciones de bulones de 20 mm de diámetro y longitudes de 1,50 m. Se trazaron cuadrículas amplias de 4x4 m y 6x6 m, en función de si instalaba cable de refuerzo o no.

Así, el tratamiento estaba terminado a la espera de los trabajos de la proyección de sustrato. Como las fechas en las que se concluyó esta primera fase no eran las adecuadas –nos encontrábamos a finales de noviembre–, se propuso aplazar los trabajos por el problema que podría originar la nieve sobre el manto sustrato a proyectar. Por parte de Dirección de Obra se aceptó la propuesta, quedando los trabajos previstos para los primeros días de primavera, a finales de marzo o principios de abril.

Llegadas estas fechas y tras un duro invierno, se realizó una primera inspección visual detallada del talud, observando el magnífico comportamiento del tratamiento, llegando en algunas zonas (las más húmedas) a observar como había aflorado vegetación de una manera espontánea a pesar que la calidad del terreno no era favorable (**Fig. 10**).

Finalmente, se realizaron los trabajos de proyección de sustrato e hidrosiembra a lo largo de una semana, cubriendo con una capa de espesor medio de 3 cm toda la superficie del desmonte. La maquinaria empleado fue un camión de los empleados en las hidrosiembras. La composición del sustrato empleado fue la siguiente:

- 25 l/m² de sustrato.
- 230 gr/m² de mulch de madera de fibra corta.
- 125 gr/m² de estabilizante.
- 375 gr/m² de abono orgánico.
- 20 gr/m² de abono mineral 15-15-15.



[Figura 9] .- Vista de detalle de zona terminada inferior a 6,00 m de altura.

MALLA TALUD CANTABRIA tratamiento de taludes

LA EMPRESA de una organización

MALLA TALUD CANTABRIA tratamiento de taludes

MTC
MALLA TALUD CANTABRIA

Políg. de Barros, 25 - 39408 Barros (Cantabria) - Teléfono 942 841 734 - Fax: 942 834 140 - info@mallatalud.com



Tratamiento de terreno en túneles para una galería de conexión



Consolidación mampostería antigua y terrenos para trabajos de restauración

Promoción y venta de los microcementos Spinor® fabricados en Francia por Holcim.

Inyección en suelos para refuerzo o impermeabilización de estructuras.



Tratamiento de impermeabilización de presas

sumsert
SUMINISTROS Y SERVICIOS TECNOLÓGICOS S.C.P.



■ [Figura 10].- Vista detalle del talud tras el invierno.

Los rendimientos de instalación normales por m² de talud de un camión como el empleado, con un volumen de carga de 12 m³, es de 200 m² por carga, con lo que para los 16.000 m², se requirieron 80 cargas distribuidas a lo largo de 5 días de trabajo (16 ciclos al día). Cada ciclo consistía en la carga de un volumen de agua de 9 m³ y de sustrato 3 m³ aproximadamente, para un volumen total proyectado de mezcla de 960 m³ (Fig. 11).

La proyección se realizó en 4 pasadas, cubriendo en la 1ª la geomalla y malla con sustrato, e incorporando la hidrosiembra en la 2ª y 3ª pasada, para tapar con la última nuevamente con sustrato para proteger la hidrosiembra. La composición de la hidrosiembra empleada fue:

- 100 gr/m² de mulch de madera de fibra corta.
- 10 gr/m² de estabilizante orgánico.
- 30 gr/m² de abono mineral.
- 10 cc/m² de ácidos húmicos/fúlvicos.
- 30 gr/m² de semilla.

El tipo de semillas empleadas fueron:

- 10% *Festuca arundinacea*.
- 10% *Agropyrum cristatum*.
- 10% *Agropyrum desertorum*.
- 25% *Lolium westwoldicum*.
- 10% *Vicia sativa*.
- 15% *Onobrychis viciifolia*.



■ [Fig. 11].- Trabajos de proyección de sustrato.

- 10% *Medicago sativa*.
- 10% *Mellilotus officinalis*.

Los resultados finales fueron espectaculares, produciéndose una colonización del 90% de la superficie del talud, y tras pasar 2 inviernos el tratamiento sigue mostrándose efectivo, habiendo un impacto visual prácticamente nulo integrándose totalmente en el paisaje (Fig. 12).

Conclusiones

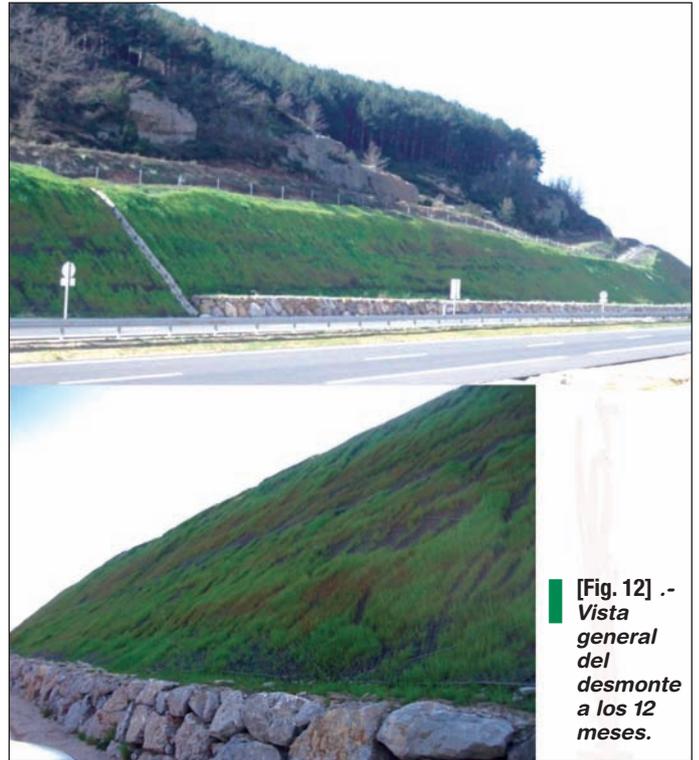
La restauración paisajística en obra pública debe tener como objetivo la recuperación del entorno a su estado original, tratando de integrar las acciones humanas en el paisaje con el menor impacto posible. Para poder cumplir estos objetivos resulta primordial un estudio exhaustivo de la zona de tratamiento de manera previa a la actuación con el fin de seleccionar la opción técnica y paisajista más viable.

La realización de desmontes y terraplenes conlleva alteraciones en el relieve, apareciendo taludes artificiales no existentes hasta el momento de la ejecución de la obra.

De ahí que sea necesaria y prioritaria una actuación rápida para impedir el proceso degenerativo de las zonas afectadas. Los objetivos de tales actuaciones deben concentrarse en:

- Integración paisajística de la obra.
- Estabilización de los terrenos no consolidados.
- Estudio y protección de las zonas con riesgo erosivo.

El tratamiento de regeneración pierde eficacia en aquellos taludes de desmonte que dadas sus características, –elevada pendiente, ausencia de tierra vegetal y materia orgánica, grandes longitudes o alturas, compactación elevada–, además del factor



■ [Fig. 12].- Vista general del desmonte a los 12 meses.

climatológico, –largos periodos de sequía, intensidad de las precipitaciones y oscilaciones térmicas extremas–, influyen de forma negativa en el éxito de la acción, dificultando en primer lugar la permanencia en el talud de todos los materiales proyectados en el tratamiento y, en segundo lugar, dificultando la germinación y posterior desarrollo de las especies utilizadas.

Bibliografía

- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1974-a) **Mapa geotécnico general. 11, 5-2, Reinosa.** Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1978) **Mapa Geológico de España. 83, 18-6, Reinosa.** Servicio de publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.
- **Propuesta del estudio del corredor de alta velocidad Burgos-Santander por Aguilar de Campoó.** SERGIO IBÁÑEZ GARCÍA, JOSÉ ANGELO PORRES BENITO, ANA BELÉN ESPINOSA GONZÁLEZ, ROBERTO DÍEZ DE LA FUENTE HERNÁN GONZALO ORDEN (Área de Ingeniería del Terreno e Infraestructura de los Transportes de la Universidad de Burgos E.P.S.).
- **Documentación comercial de PROJAR.** JORGE FORT LLACER, ALEJANDRA PINTOS PERIS, ELENA GONZÁLEZ TEJEDOR.
- **Documentación comercial de IBEROTALLUD.** GERMÁN JIMÉNEZ PÉREZ.
- **Documentación comercial de MALLA TALUD CANTABRIA.** PEDRO BENITO DE LAS HERAS.



MALLA TALUD CANTABRIA, S.L.
 Pol. Barros, 25 • 39408 Barros (Cantabria)
 ☎: 942 841 734 • Fax: 942 834 140
 E-m: mtc@mallatalud.com
 Web: www.mallatalud.com

EXPO_MATEC

Feria de Infraestructuras, Maquinaria de Obra Civil, Extracción y Minería
Infrastructure, Civil Works, Extraction & Mining Machinery Fair

24-28
Mayo
May
2011

COORGANIZAN / COORGANISED BY



IFEMA
Feria de
Madrid



Tecnología para un progreso sostenible Technology for sustainable development

www.expomatec.com

LÍNEA IFEMA / IFEMA CALL CENTRE

LLAMADAS INTERNACIONALES (34) 91 722 30 00
INTERNATIONAL CALLS

FAX (34) 91 722 58 07

expomatec@ifema.es

Aplicación del software Macstars® para el cálculo de Muros de Suelos Reforzados

Muros combinados *Tresma® Verde-Tresma® Gavión* en grandes infraestructuras viarias

En los últimos años se viene observando un notable interés dentro del sector de la Ingeniería Civil de soluciones mediante muros de bajo impacto ambiental y un elevado valor paisajístico. *Maccaferri* introdujo, para llenar este vacío, una solución acorde a estos requerimientos: El sistema de muros reforzados *Tresma®*. Este sistema presenta sin duda ventajas de carácter estético y puede ser utilizado con éxito para reforzar laderas, con o sin vegetación. Este artículo analiza tanto este sistema como un ejemplo real de implementación.

El sistema *Tresma®*: refuerzo primario y refuerzo secundario

Las soluciones de terreno reforzado son una alternativa al muro de hormigón como estructura de contención. Es una excelente opción cuando es necesaria la formación o recomposición del macizo a contener. Son estructuras optimizadas, económicamente competitivas debido a su alto rendimiento estructural, simplicidad constructiva y bajo impacto ambiental.

A grandes rasgos este tipo de solución presenta las siguientes ventajas:

- Precio respecto muro de hormigón.
- Drenantes.
- Facilidad de diseño.
- Facilidad de ejecución.
- Rapidez de ejecución.
- Adaptación al terreno.
- Fiabilidad.
- Integración paisajística y estética.
- Mínimo impacto ambiental.
- Facilidad de vegetación del parámetro exterior cuando las condiciones climáticas lo permiten.
- Flexibilidad que garantiza a la estructura la capacidad de absorber los asentamientos diferenciales del terreno.
- Simplicidad constructiva. Posibilidad de no usar piedra.
- El paramento externo y la armadura de refuerzo constituyen una única estructura continua y se fabrican a medida modular, excluyendo toda operación de corte y montaje en la misma obra.
- Esenciales características de fondo absorbencia del parámetro externo.

El sistema *Tresma®* (Terreno Reforzado y Estabilizado con Malla) es una estructura de

La ejecución de muros compuestos con el sistema *Tresma®* es una solución efectiva y económica a la hora de acometer muros de notables dimensiones en grandes infraestructuras viarias con elevadas sollicitaciones estructurales y mínimo impacto ambiental.

Palabras clave: CONTENCIÓN, ESTRUCTURA, GAVIÓN, GEOMALLA, MACSTARS®, MURO REFORZADO, SOFTWARE, TALUD, *TRESMA®*.

 **Roberto MAJORAL⁽¹⁾, Juan Carlos PORTELA⁽¹⁾, Rubén CLOTA⁽¹⁾.**
⁽¹⁾A. BIANCHINI INGENIERO, S.A. - España

suelo reforzado, realizada mediante elementos en malla metálica hexagonal de triple torsión de tipo 8x10, galvanizada mediante el proceso *Galfan* (protección a la corrosión del alambre con una aleación de 95% de zinc y 5% de aluminio) y revestida con PVC gris.

En el caso en el que se tenga que construir muros de una cierta altura es necesaria la combinación de los elementos *Tresma®* con unas geomallas de refuerzo que tendrán una función de *refuerzo primario* mientras que la malla del propio *Tresma* constituye el *refuerzo secundario*.

Cuando el material de relleno es de tipo granular debe combinarse con geomallas tejidas *Macgrid WG*, geomallas de bandas *ParaGrid* o *Paralink*. Si el material de relleno es de tipo cohesivo se recomienda emplear mallas de bandas drenantes *ParaDrain*.

El sistema *Tresma®*: *Tresma® Gavión*

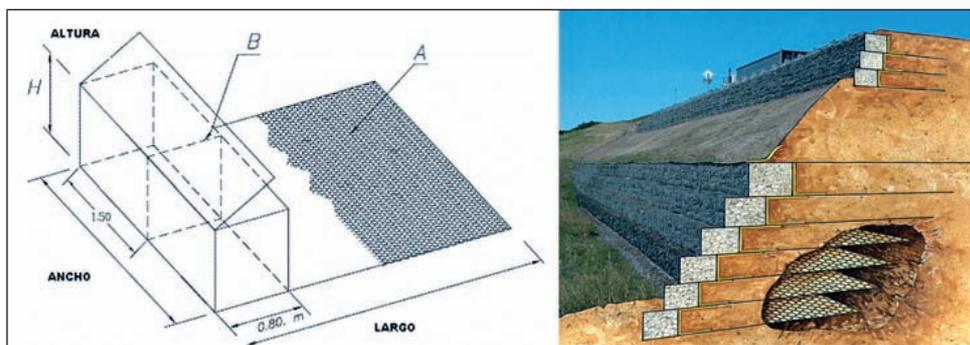
El sistema *Tresma®* es un sistema modular utilizado para aplicaciones de refuerzo de suelos como muros o taludes mecánicamente estabilizados. El *Tresma® Gavión* está compuesto por enrejado metálico con mallas hexagonales de *Triple Torsión* del tipo 8x10 galvanizado *Galfan®* ($Zn_{95}Al_5$ y unas adiciones de Lantano y Cerio) y revestido con P.V.C. gris, $\varnothing = 2,70/3,70$ mm. La malla metálica utilizada en el *Tresma® Gavión* cumple la norma *UNE-EN 10223-3 Malla hexagonal de acero para aplicaciones industriales*.

La cara vista del elemento *Tresma® Gavión* está formada uniendo el panel trasero y el diafragma a la pieza principal. Esto crea celdas rectangulares para el confinamiento de la piedra, similar a los gaviones (*Fig. 1*). Los elementos *Tresma® Gavión* son suministrados en medidas estándar por lo que no requieren cortes en campo.

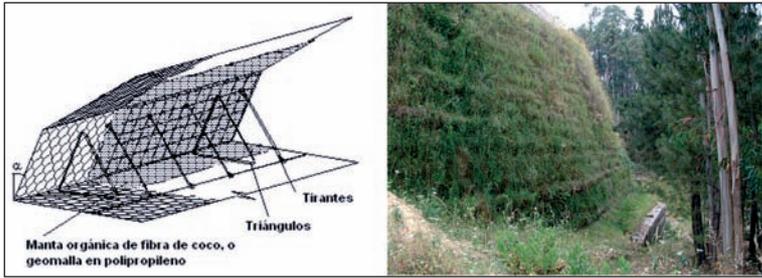
El sistema *Tresma®*: *Tresma® Verde*

El *Tresma® Verde* es un tipo de estructura de suelo reforzado; presenta un paramento exterior vegetalizable para la realización de obras de contención y consolidación de terraplenes. Está concebido para permitir el crecimiento de la vegetación en su paramento, minimizando el impacto ambiental y paisajístico.

Se trata de un elemento estructural continuo, compuesto por un enrejado metálico de mallas hexagonales de *Triple Torsión* con una biomanta de fibras de coco en su paramento exterior que permite el desarrollo natural de una capa vegetal. La tapa, la cara (paramento) y la base (malla de refuerzo) están formadas por un único paño de tela.



[Figura 1].- Detalle elemento *Tresma® Gavión* y sección real de muro.



[Figura 2] .- Detalle elemento **Tresma® Verde** y muro totalmente **vegetalizado**.

El paramento (cara frontal) está reforzado por un panel de malla electrosoldada. Se mantiene en posición mediante triángulos y varillas de acero corrugado que definen la inclinación pretendida (60°, 65° o 70°). Inclinaciones más verticales no favorecen la vegetación (**Fig. 2**).

Las unidades se suministran en medidas estándar por lo que no requieren cortes en campo.

El paramento exterior está reforzado por un panel de malla electrosoldada en su interior, de diámetro 8mm. Su paramento puede ser, a su vez, reforzado tipo *Agua* o reforzado tipo *Tierra*. El **Tresma® Verde** tipo *Agua* está formado por una geomalla en polipropileno, mientras que el tipo *Tierra* está formado por una manta orgánica de fibra de coco reforzado con malla plástica.

Geomallas: el refuerzo primario

En el caso en el que se tenga que construir muros de una cierta altura es necesaria la combinación de los elementos **Tresma®** con unas geomallas de refuerzo que tendrán una función de refuerzo primario mientras que la malla del propio **Tresma®** constituye el refuerzo secundario.

El espaciado vertical entre los refuerzos es determinado por el diseño para poder garantizar la resistencia al esfuerzo cortante. En muros de cierta entidad es normal emplear geomallas de tipo **Paragrid®** y **Macgrid®** como refuerzo primario.

Paragrid®

Las geomallas **Paragrid®** son geomallas para el refuerzo de suelos; son estructuras planas constituidas por bandas termosoldadas con forma de malla tipo rectangular o cuadrado. Cada banda está compuesta por filamentos de poliéster de alta tenacidad alineados y revestidos con una capa protectora de polietileno (LLDPE).

Estas geomallas presentan una amplia gama de resistencias longitudinales que llegan hasta 1350 kN/m. Sus principales campos de uso son: como refuerzo en terraplenes, en aplicaciones de tierra reforzada usando suelos con matriz angular y en combinación con las estructuras **Tresma®** cuando la altura del muro no permite la utilización de **Tresma®** como único refuerzo.

MacGrid®

Las geomallas de la familia **MacGrid® WG** son estructuras o mallas de tipo tejido con forma de malla tipo rectangular o cuadrado. Los filamentos que componen la geomalla son de poliéster de alta tenacidad y están recubiertos por una capa protectora polimérica.

Las características de las mallas permiten realizar productos con resistencia mecánica variable entre 20 y 200 kN/m en el sentido longitudinal y entre 20 y 110 kN/m en el sentido transversal. Las fibras de poliéster de alta tenacidad confieren al producto óptimos comportamientos de resistencia mecánica tanto a corto como a largo plazo y la capa polimérica protege los filamentos de las agresiones químicas y mecánicas externas y asegura la estabilidad geométrica de la malla.

Diseño de muros con el sistema Tresma®: Macstars®

Bianchini brinda a sus clientes asesoramiento en todo tipo de proyectos poniendo a su servicio potentes herramientas de análisis y cálculo como el software **Macstars®**; un programa para el cálculo de *Muros de Suelos Reforzados* que analiza todas las características del proyecto y calcula la solución más eficiente.

El programa **Macstars®** realiza los análisis necesarios para los proyectos de muros reforzados con elementos **Tresma®**. Tomando como base las propiedades del suelo (ángulo de rozamiento interno, cohesión y peso específico); perfiles, cargas (concentradas, distribuidas y acción sísmica).

Este software permite analizar la *Estabilidad Global, Estabilidad Interna, Vuelco* y *Deslizamiento* para estructuras de Terreno Reforzado. Los métodos utilizados en los cálculos se basan en el *Método del Equilibrio Límite*.

Junto con los métodos de equilibrio de límite convencionales (*Bishop* y *Janbu*) está disponible también con este software el método de las deformaciones (*Displacement Method*). Este método permite tener en cuenta las diferentes características de deformación de los refuerzos, con el objetivo de establecer la distribución de tensión.

El programa ofrece la salida de datos en dos extensiones: extensión *dwg* para el proyecto, con el diseño y secciones del muro y la memoria del estudio de estabilidad.

Validación del software Macstars®

Con el fin de validar el software en el año 2000 se construyó un modelo físico de muro. Este modelo fue construido en el *Equipo de Ensayos Estáticos* del Laboratorio de Ingeniería Civil de ENEL-HYDRO en Seriate, Italia, que posteriormente fue analizado con el programa **FLAC**.

Los objetivos de esta modelización fueron los siguientes:

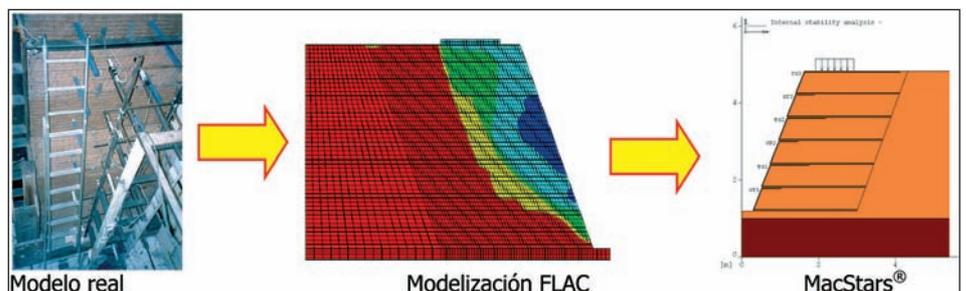
- Evaluar el comportamiento, a través de un modelo en escala real con 3.6m de altura cargado hasta el colapso, de una estructura de suelo reforzado (ESR) con refuerzos no uniformes;
- Realizar análisis numéricos considerando deformaciones planas usando el programa **FLAC**;
- Evaluar si el gráfico tensión-deformación y el comportamiento en la rotura de la estructura puede ser estimado por los métodos convencionales basados en el equilibrio límite o si métodos más sofisticados deben ser utilizados.
- Validar el software **Macstars®** desarrollado para realizar análisis de estabilidad en ESR que utilizan diferentes tipos de refuerzos y situaciones de diseño bastante complejas (**Fig. 3**).

Los parámetros empleados en el ensayo fueron los siguientes:

Suelo

El suelo usado para el relleno es una arena media uniformemente graduada (silícica):

- Ángulo de fricción: $\phi' = 43^\circ$
- Cohesión drenada: $c' = 0$



[Figura 3] .- Proceso de validación del software **Macstars®**.

- Fricción a volumen constante: $\phi'_{cv} = 34^\circ$
- Módulo de Young ($e = 0.1\%$): $E' = 60 \text{ MPa}$.

Refuerzos

Los refuerzos utilizados fueron de dos tipos:

- Malla hexagonal de doble torsión (resistencia a la tracción = 50 kN/m)
- Geomalla de poliéster (resistencia a la tracción = 30 kN/m).

Ambos refuerzos tienen un revestimiento de PVC para aumentar su durabilidad y resistencia a daños. Todo el sistema fue monitorizado con células y transductores conectadas a un sistema informático 24 horas al día.

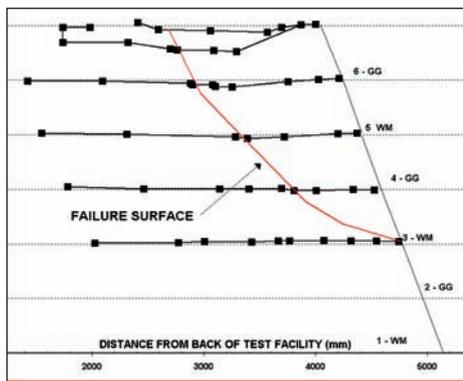
El muro construido fue sometido a carga con las siguientes características:

- Las cargas fueron aplicadas a través de una placa de acero con costillas rígidas (1.9mx1.1m), solicitada por un sistema hidráulico conectado a la placa por medio de una junta esférica.
- Para garantizar la obtención de las cargas requeridas, una estructura de acero anclada a la pared de hormigón fue instalada sobre el pistón hidráulico (Fig. 4).

Una vez concluido el montaje, la estructura permaneció en observación durante 840 horas (35 días). La primera etapa de carga corresponde a la aplicación del peso propio del sistema de carga (placa + junta + pistón hidráulico = 35 kN). A partir de aquí, los escalones de carga se fueron aplicando en etapas de 107 kN. Esta fase tuvo duración de seis semanas.

Cuando la carga llegó a 1638kN, correspondiendo a una presión media de 784kPa, la deformación en la placa aumentó de 40mm para 68mm en un pequeño intervalo de tiempo dando lugar al colapso.

El análisis de todas las mediciones hechas durante la fase de carga, la integridad de los refuerzos y el tipo de deformación sufrida por los tubos de los inclinómetros, observadas en la remoción de los materiales, al final de los ensayos, han permitido la determinación de la superficie de falla (Fig. 5).



[Figura 5].- Determinación de la superficie de falla.



[Figura 4].- Instrumentación y monitorización del modelo.

La superficie de falla parece tener la forma de una espiral logarítmica, con inicio cerca de la extremidad interna de la placa y término en la base de la tercera camada de refuerzo.

Este comportamiento coincide con observaciones hechas, en ensayos en escala real, realizados en modelos con carga límite, refuerzos uniformes y cara de refuerzo, cargas máximas y cara formada por suelo envuelto con geomallas.

Todos estos datos fueron analizados por el software *FLAC 2D* empleando los siguientes parámetros de modelización numérica:

- Una malla de cálculo de 4 nudos compuesta por 3656 elementos, 3800 mm de altura, 5400 mm (base) y 3800 mm (tope) de largo.
- A la versión comercial del software *FLAC* fue añadida una subrutina para implementar una nueva ley constitutiva no lineal para suelos granulares.
- El modelo numérico consiste de 3 elementos: *Suelo*, *Refuerzos* y *Interficie de Contacto*.

Posteriormente a la modelización se procedió a la validación del software *Macstars*® que a día de hoy se confirma como una poderosa herramienta a la hora de verificar y calcular muros de suelo reforzado.

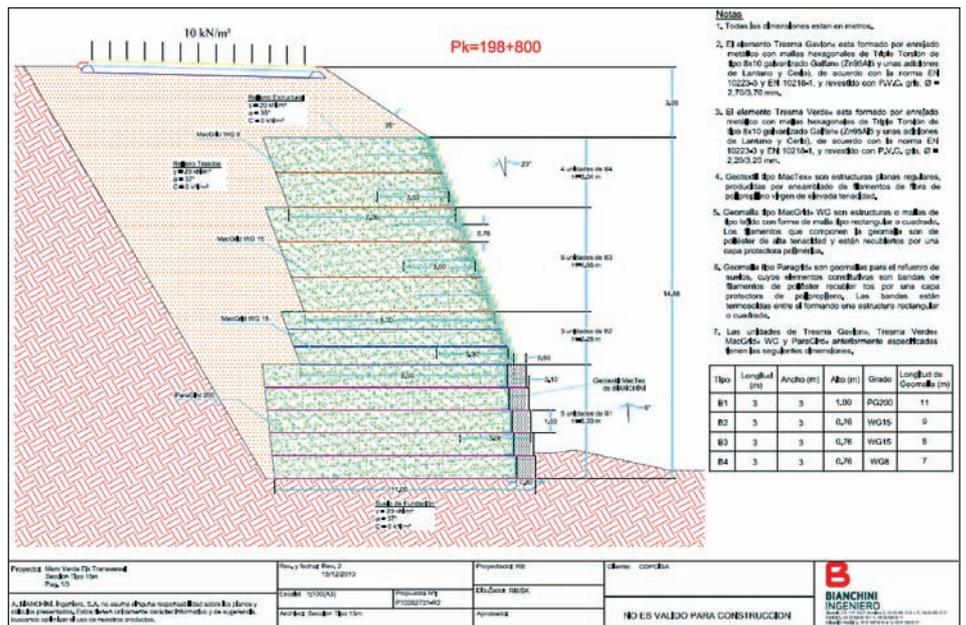
Un caso real: Muro Ampliación C-35 en Espinelves (Girona)

COPCISA, empresa adjudicataria de la construcción de la ampliación de la C-35 en el tramo de Espinelves, se puso en contacto con los técnicos de *A. Bianchini Ing.* con el fin de realizar el cálculo y diseño de un muro combinado tipo *Tresma*® *Gavión* – *Tresma*® *Verde*.

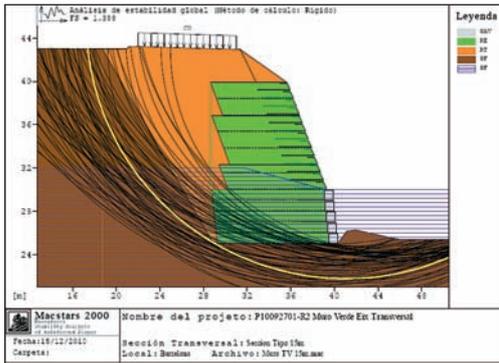
Las necesidades del proyecto eran las siguientes:

1.- La base del muro estaba sometida a un importante ascenso del nivel del agua de la Riera de Espinelves, condicionado por los datos del ACA para un período de retorno de 500 años. COPCISA proporcionó datos *HEC-RAS* del estudio hidrológico de la cuenca para conocer el comportamiento del flujo en caso de avenida máxima para un periodo de retorno de 500 años; estos datos, propiedad de la Agencia Catalana del Agua han sido tratados con el programa *HEC-RAS* así como con nuestro software *MACRA I – II* (Fig. 6).

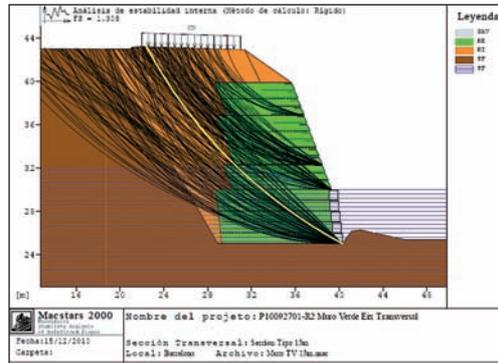
MACRA toma como base para el cálculo las propiedades del suelo (ángulo de rozamiento interno, cohesión y peso específico); perfiles, cargas (concentradas, distribuidas y acción sísmica) junto con los parámetros hidráulicos de la cuenca y la tipología de muro a construir, bien sean suelos reforzados con *Tresma*® *Ga-*



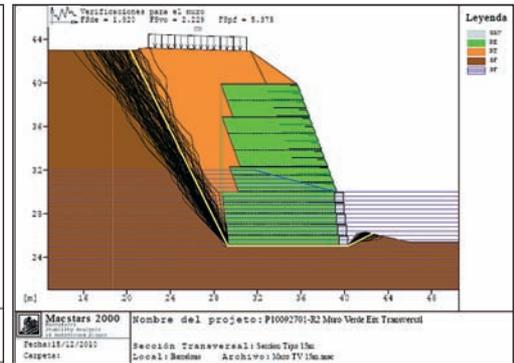
[Figura 6].- Esquema de la fase previa de diseño.



■ [Fig. 7a).- Verificación de la estabilidad global.



■ [Fig. 7b).- Verificación de la estabilidad interna.



■ [Fig. 7c).- Verificación del muro.

vión, Muros de Gaviones o Gaviones Recubrimiento tipo **RENO**.

2. El muro debería soportar un tráfico de 10 KN/m^2 viéndose afectado por un coeficiente de Sismicidad propio de la zona ($0,49 \text{ m/s}^2$).

3. En caso de avenida máxima se saturaba todo el trasdós del muro.

4. Superada el nivel máximo para un periodo de retorno de 500 años, el muro coronaría como muro verde hasta llegar a una altura máxima de muro de 15 metros.

Los resultados que arrojó **Macstars**® al respecto (Figs 7a, 7b y 7c), junto con su acertado diseño y economía han hecho realidad este

muro llamado a convertirse en una referencia a nivel estatal.

Conclusiones

Se ha propuesto el sistema **Tresma**® desarrollado por **Maccaferri** y **Bianchini** para la realización de muros de refuerzo de manera sencilla y económica, resultando muros de elevada capacidad portante con total cumplimiento de los requerimientos medio ambientales del proyecto integrándose perfectamente en el medio que los rodea.

Se aplica el concepto del refuerzo primario y secundario empleando geomallas y unidades

Tresma® que permiten economizar el diseño a la vez que soportar elevadas sollicitaciones estructurales. Para ello el software **Macstars**® propiedad de **Maccaferri** se ha mostrado como una herramienta perfectamente válida y validada para realizar cálculos de muros de terreno reforzado.



BIANCHINI INGENIERO
 Diputación, 279 - 1º •
 080007 Barcelona.
 ☎: 934 961 300
 Fax: 934 961 301
 Web: www.bianchini.es

CALIDAD implica tres palabras claves: **COMPROMISO, RESPONSABILIDAD y SERVICIO.**

COMPROMISO

Certificado CE de control de producción en fábrica nº 1220-CPD-1005 para nuestros productos de Gaviones, ya sean de malla hexagonal o de malla electro-soldada, acreditando el cumplimiento de la DITE(ETA) 09/0412.

Normativa: Nuestros gaviones están fabricados con Enrejado de Triple Torsión de alambre galvanizado reforzado Galfan (95% Zn + 5% Al), según UNE 36730 – 2006 y UNE-EN 10244-2.

Durabilidad: Las características de nuestro alambre Galfan® proporciona a nuestros elementos de contención una durabilidad superior a 50 años, la Directiva de la CEE 89/106/CEE sobre productos para la construcción, incluso en ambientes agresivos medios, aerosoles marinos o en zonas cercanas a emisiones de CO₂. Para ambientes más agresivos disponemos de la calidad plastificada, siempre sobre alambre galvanizado Galfan.

Diseño y Asesoramiento técnico: Exclusivo para nuestros clientes; software de cálculo de estructuras y estabilidad así como volcado en formato *.dwg.

RESPONSABILIDAD

Todos nuestros productos están marcados con un hilo galvanizado y plastificado de color verde. Mediante este distintivo permanente nos hacemos plenamente responsables de las características de nuestros productos y de su correcto comportamiento bajo las más estrictas exigencias constructivas. Tenemos concertada la correspondiente Póliza de Seguro para Responsabilidad Civil de Producto.

SERVICIO

Nuestra empresa cuenta con más de 102 años de experiencia en el sector de los gaviones, ofreciendo soluciones y servicio a todas las empresas del sector, con un producto nacional que sigue las Normas de Calidad establecidas por el actual marco legal.



- Gaviones: Sistemas de Corrección Fluvial, Muros de contención, Urbanismo, Arquitectura y Decoración.
- Muros de Suelo Reforzado.
- Consolidación de taludes.
- Geosintéticos.
- Fibra de acero para hormigón.
- Refuerzo basal de terraplenes
- Fibra de polipropileno para mejora al fuego del hormigón.



SOLUCIONES EN GEOTECNIA Y MEDIO AMBIENTE
WWW.ABIANCHINI.ES

Oficina Barcelona: +34 93 496 13 00 bianchini@abianchini.es Delegación Madrid: +34 91 598 60 90 jvaldeso@abianchini.es Delegación Lisboa: +351 218 968 282 portugal@abianchini.pt

La Tomografía de la resistividad eléctrica en consolidaciones con resinas expansivas

La búsqueda y empleo de ensayos diagnósticos que ayuden a la determinación de un problema de asentamiento de una determinada estructura así como las pruebas de seguimiento y control están muchas veces condicionados, casi exclusivamente, por elementos económicos y precisamente por eso tanto técnicos como clientes deciden no realizar estudios más adecuados con la posibilidad que más adelante el daño que esto pueda causar comporte un mayor gasto del que se quiso evitar en un primer momento. En este artículo se expone la tomografía eléctrica como un método que proporciona información precisa acerca de las causas de los asentamientos y permite el control y verificación de procesos derivados de la inyección como el relleno de cavidades o alejamiento del agua desplazados por la expansión de la resina hacia puntos de menor energía.

Un sistema convencional, que tenga en cuenta las *Normativas Técnicas* del sector de la Construcción, tiene que considerar la realización de un estudio preliminar orientado a identificar las causas y consecuencias en relación a las condiciones del entorno. Esto hace que sean imprescindibles la elección y el empleo de instrumentos para medir aquellos parámetros necesarios para solucionar el problema inicial aconsejando una referencia que soporte el proyecto y la verificación del mismo.

El empleo de la *tomografía de la resistividad eléctrica* como técnica de investigación poco invasiva de última generación, (*ERT*, del nombre inglés *Electrical Resistivity Tomography*), en el proyecto y seguimiento de una obra de recalce mediante la consolidación de terrenos de cimentación con inyecciones de resinas de lenta expansión, se presenta como herramienta fundamental, como veremos más adelante. Permite definir en tres dimensiones (*ERT 3-D*), la distribución de la resistividad eléctrica en el subsuelo, incluso bajo el mismo edificio donde en la mayoría de los casos los estudios geotécnicos habituales no pueden llegar (sondeos mecánicos, pruebas penetrométricas). Observando esta distribución se podrá obtener el modelo geolitológico local del área circunscrita a la estructura asentada. De esta forma, la técnica *ERT* extiende a la totalidad del subsuelo estudiado la información que los estudios geotécnicos han facilitado permitiendo establecer las causas del asentamiento.

En una segunda fase, mediante la continua repetición del estudio *ERT (ERT 4-D)*, aprovechando el contraste de resistividad eléctrica entre las porciones de terreno tratadas con resina y no tratadas, se pueden evaluar los efectos inducidos en el terreno y, en función de estos, llevar a cabo eventuales modificaciones en la distribución de los puntos de inyección.

Una vez finalizada la intervención el *ERT* permite entender si la causa del asentamiento ha sido eliminada de forma definitiva: por ejemplo si el asentamiento ha sido causado por el agua, ver si esta ha sido alejada gracias a la in-

Palabras clave: ASENTAMIENTO, CIMENTACIÓN, CONSOLIDACIÓN, INYECCIÓN, MONITORIZACIÓN, RECALCE, RESINA EXPANSIVA, TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA.



Dpto. Técnico de
GEOSSEC ESPAÑA, S.L.

yección de resinas. La unión del estudio *ERT/4D* y de la técnica de consolidación mediante inyecciones de resinas expansivas, permite dirigir de manera eficaz la inyección misma, evitando concentrar el agua anómala bajo la cimentación del edificio.

Basándose en la experiencia adquirida, se ha intentado mejorar la técnica focalizando la atención en la determinación de sistemas diagnósticos y de proyecto que puedan tener en consideración, en una visión tridimensional, las tres fases de un terreno, no solo la sólida, sino también la fluida (agua) y la gaseosa (vacíos).

Resulta por lo tanto muy adecuada la unión del proceso de inyección y del sistema de monitorización *ERT-3D/4D*, que pueden definir, la presencia de cavidades y de agua intersticial en el terreno, que son las causas más comunes del asentamiento, y seguir su evolución. La tomografía de la resistividad eléctrica es útil para verificar en el terreno, en tres dimensiones, los efectos *cualitativos* de las inyecciones, es decir verificar si han sido colmatadas las cavidades y/o si ha sido alejada el agua intersticial presente en el terreno bajo la cimentación asentada.

Los ensayos penetrométricos posteriores al estudio *ERT-3D/4D* completan los ensayos diagnósticos estableciendo la resistencia mecánica del terreno objeto de intervención.

La intención es analizar las técnicas de prueba y de estudio del terreno afectado por asentamiento diferencial, en relación a las intervenciones que contemplan la inyección de resinas expansivas, aconsejando una referencia que soporte el proyecto y la verificación de estas modernas intervenciones de *consolidación del terreno*⁽¹⁾.

La monitorización

El comportamiento de la resina como agente externo que interacciona con el terreno depende tanto de las cargas ejercidas por la cimentación como de las características del volumen de subsuelo implicado.

En el campo de las intervenciones de consolidaciones de terreno el técnico se enfrenta habitualmente con una multitud de materiales heterogéneos presentes en la naturaleza y, por muy amplia que sea la gama de muestras recogidas o los estudios *in situ* realizados, nunca se tendrá la certeza de que la representación de la variedad de características de un terreno sea exhaustiva. De hecho, contrariamente a un normal proyecto de ingeniería (estructuras, instalaciones etc.) el proyecto geológico-técnico se basa en la elección, por parte del profesional, de los valores más probables entre todos los posibles.

El objetivo de los estudios *in situ* es identificar, en la medida de lo posible, un modelo simplificado de la realidad física pasando por unos procedimientos y unos métodos de proyección que permitan llegar a una solución fiable del problema.

Durante la intervención con esta técnica de recalce se monitorizan los parámetros más significativos y se observa el comportamiento de la obra en función del modelo de proyecto empleado, modificando si fuera necesario la decisión inicial tomada. La monitorización, es por tanto, parte del proceso de ejecución y los instrumentos utilizados constituyen el medio más adecuado para la observación y evaluación. En el campo de las intervenciones, cuya finalidad es contrarrestar los *asentamientos di-*

(1) *Consolidación del terreno.*- Aumento de resistencia del terreno que demuestra ser insuficiente mediante un conjunto de procesos por los cuales el terreno sufre modificaciones físico-químicas. La mejora de características geotécnicas como aumento de compresibilidad, resistencia al corte y disminución de permeabilidad son algunas de ellas.

ferenciales⁽²⁾ del terreno, son muchas las herramientas utilizadas por el jefe de obra: empezando por los instrumentos destinados a la adquisición del cuadro de lesiones de la estructura asentada, pasando a los instrumentos geotécnicos para la adquisición de los parámetros mecánicos del terreno y terminando con los instrumentos geofísicos, en particular aquellos utilizados para definir un modelo tridimensional que proporcione una información fiable acerca de la distribución de las litologías, de las cavidades, de las estructuras enterradas, de los flujos/concentraciones de agua en el subsuelo y de la variación en el tiempo de estas propiedades durante la acción de las resinas expansivas.

Las pruebas mecánicas

Son muchas las pruebas mecánicas del terreno que sustentan las intervenciones de consolidación mediante la inyección de resinas expansivas, y entre las más utilizadas se encuentran las pruebas penetrométricas estáticas y las *dinámicas*. Entre las *dinámicas* se pueden mencionar el *Standard Penetration Test (SPT)*⁽³⁾ con el cual se determina el número de golpes (N_{spt}) necesarios para insertar, hasta alcanzar una profundidad establecida, un tubo o una punta cerrada de medidas estándar dejando caer una masa predefinida desde una altura preestablecida. Se debería de realizar la prueba *SPT* en perforaciones especiales, pero a veces éstas resultan ser las mismas perforaciones utilizadas para otros sondeos geotécnicos. Las *Dynamic Probing (DP)* son pruebas penetrométricas dinámicas continuas que no necesitan perforaciones y por eso resultan más económicas y más sencillas. Se dividen en cuatro categorías, según el peso de la masa batiente M (clasificación ISSMFE 1988, *Tabla I*).

Estas pruebas se realizan preferentemente en terrenos granulares (arena, grava) pero, con precaución, se pueden realizar en cualquier terreno, también en presencia de rocas débiles;

(2) *Asentamiento diferencial*.- Cuando una estructura de cimentación asienta, su deformación puede depender de un asentamiento uniforme o de un asentamiento de tipo rotacional. Fijados dos puntos A y B de la deformación, la diferencia geométrica $\delta ab = (\delta b - \delta a)$ de los relativos asentamientos medidos en Ay B representa el asentamiento diferencial que causa una distorsión angular entre los mismos puntos βab . (WAHLS, 1981).

(3) *SPT (Standard Penetration Test)* .- Prueba en la que se mide el número de golpes necesarios para insertar una muestra estándar a la profundidad de 30 cm (1 pie), batiendo con una masa de 63,5 kg (140 libras) y con una altura de caída de 76 cm.

TIPO	SIGLA	PESO MAZA	PROFUNDIDAD MÁXIMA
Ligero	DPL	$M \leq 10$ kg	8 m
Medio	DPM	$10 \text{ kg} < M < 40$ kg	20 - 25 m
Pesado	DPH	$40 \text{ kg} \leq M < 60$ kg	25 m
Super Pesado	DPSH	$M \geq 60$ kg	25 m

[TABLA I].- *Categorías de las pruebas DP en función de la masa M (ISSMFE 1988).*

en cambio, en caso de rocas muy grandes (bloques), esta tipología de prueba pierde su significado. Gracias a estudios empíricos es posible calcular de manera precisa:

- La densidad relativa (*DR*).
- El ángulo de resistencia al corte (ϕ).
- La resistencia a la licuefacción (τ_f/σ'_{vo}) de los terrenos granulares.
- El módulo de corte a pequeñas deformaciones (G_0).
- la resistencia al corte no drenado c_u en terrenos de grano fino.

La *DP* sigue siendo una prueba puntual y limitada al entorno vertical del área de estudio y en general sufre la influencia de las características de la herramienta utilizadas, de la forma de ejecución de la prueba y de la preparación profesional del operador.

En cambio, la prueba penetrométrica estática (*CPT - Cone Penetration Test*) consiste en la aplicación de un empuje vertical en el terreno ejerciendo presión sobre una punta cónica de medidas estándar y midiendo por separado, pero con continuidad, tanto el esfuerzo para penetrar como la adhesión por adherencia de un manguito puesto encima de la punta de penetración mientras esta avanza en el terreno.

La historia de estas pruebas se conoce a partir del 1917 cuando se realizaron durante las obras de construcción de la red del tren sueca. Sucesivamente, en 1934, la prueba ha sufrido importantes modificaciones hasta llegar a ser muy parecida a la que se utiliza hoy en día. La *CPT* puede proporcionar datos mucho más fiables acerca de la estratigrafía de los terrenos estudiados, en particular si se junta a sondeos como por ejemplo la extracción de muestras o las excavaciones *in situ*.

Además, los resultados de esta prueba son útiles a la hora de determinar algunas propiedades mecánicas del terreno estudiado, como por ejemplo la *resistencia* y la *capacidad de deformación* de terrenos que, por lo general, están compuestos por finos y arenas. Si además la prueba se junta al piezometro (*CPTU*), los resultados adquieren mayor precisión y se enriquecen de información acerca de la presión hidrostática de la eventual agua subterrá-

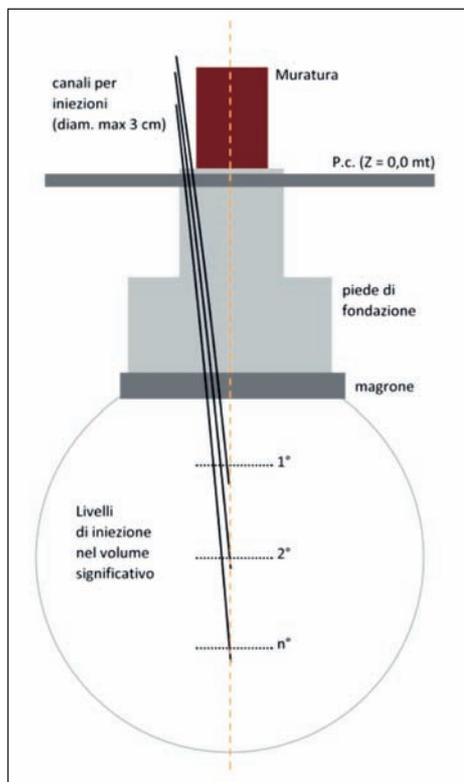
nea presente en el terreno o de las características de consolidación y de permeabilidad de los terrenos cohesivos saturados. En general, todas las pruebas penetrométricas proporcionan información a lo largo de la vertical del punto de terreno objeto de estudio, perdiendo precisión cuando se alejan de dicho punto a causa de la conocida heterogeneidad, sobre todo, de los terrenos superficiales.

Por esta razón hay que establecer diferentes pruebas oportunamente distribuidas en el terreno a estudiar y/o a consolidar.

Sin embargo, permanece una dificultad de interpretación, en lo que concierne las pruebas penetrométricas, sobre todo en la verificación de las características tensodeformacionales y en la verificación de la resistencia de los terrenos. En particular *Jamiolkovski* (1988), evidenció algunas que considera causa de posible incertidumbre por parte del geólogo:

- 1) Excluyendo las pruebas de presión y algunas pruebas geofísicas, todas las demás presentan complejos problemas de interpretación teórica de las condiciones del entorno, porque están limitadas al solo entorno de la vertical de estudio.
- 2) Las condiciones de drenaje durante las pruebas *in situ* son escasamente controlables y en la mayoría de los casos presentan, para el técnico, una dificultad concreta a la hora de establecer si los resultados obtenidos se refieren a condiciones de drenaje total, parcial o de ausencia de drenaje. Este problema se verifica en las intervenciones con resinas, donde el producto inyectado comprime la litología según su fuerza mecánica de expansión, en función de la velocidad de reacción de la resina (de pocos segundos a varios minutos), mientras los tiempos necesarios para la consolidación de terrenos pueden resultar mucho más largos (días, meses, años). Muchas veces un terreno bajo presión mecánica manifiesta esfuerzos eficaces muy diferentes respecto a los estándares de la Ingeniería civil y esto puede generar dificultades de interpretación de los valores esfuerzo/deformación a causa de la marcada heterogeneidad de los terrenos mismos que presentan un comportamiento no lineal.
- 3) Contrariamente al pensamiento común todavía existe una dosis elevada de empirismo y de simplificación en lo que concierne la interpretación de los datos obtenidos.
- 4) Se evidencian además limitaciones a nivel operativo en la ejecución de la prueba. En el caso de intervenciones de consolidación mediante inyecciones de resina ex-

pansiva, se sabe que dichas inyecciones llegan bajo la huella de la cimentación asentada a través de camisas de inyección, colocadas de forma inclinada, que permiten atravesar la estructura de cimentación y llegar al terreno asentado en posición lo más centrada posible con respecto a la vertical (Fig. 1).



[Figura 1].- Geometría de la perforación para la disposición de camisas de inyección a diferentes niveles de profundidad (Geosec).

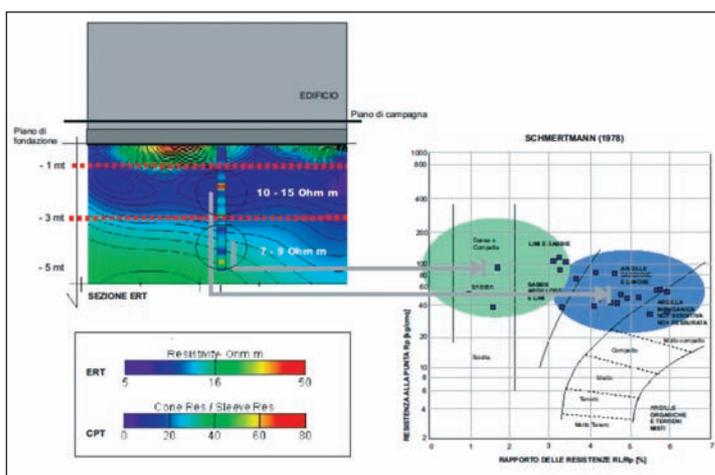
El uso de la consolidación mediante las inyecciones de resinas expansivas se estudia para la aplicación de las mismas en el bulbo de presiones⁽⁴⁾, el terreno que interacciona con el edificio, bajo la huella de cimentación. El uso de las pruebas penetrométricas llevaría de forma errónea a proceder con pruebas muy inclinadas al fin de llegar al volumen de terreno asentado/consolidado, sin considerar las estructuras portantes de cimentación colocadas en el interior del edificio, que no pueden ser alcanzadas por la prueba a menos que no se proceda a realizar demoliciones para aumentar la dimensión de acceso (Fig. 2).

Si a las pruebas penetrométricas se juntan/superponen a los análisis geoelectrónicos, podríamos definir un modelo, con consiguiente definición de la estratigrafía del terreno, en el que correlacionar los resultados de la prueba penetrométrica Estática y el Holograma geoe-

(4) Bulbo de presión.- Zona en un terreno cargado, delimitada por una isobara.



[Figura 2].- a) Reconstrucción de filamentos de resina inerte según una distribución a "raíz" en el volumen significativo, b) Sección de excavación con brazo liso en proximidad de una inyección superficial (Geosec, 2010).



[Figura 3].- a) Holograma de la resistividad eléctrica en el volumen implicado, b) mapa de clasificación del penetrometro estático (Schmertmann 1978) y correlación local de los valores de resistividad y resistencia a la punta (Fischanger, 2008).



[Figura 4].- Muestra del volumen de terreno perteneciente a una zona consolidada mediante inyecciones de resina expansiva. En blanco los filamentos de resina poliuretánica inerte. (Occhi, 2010). Test Site Emilia Romagna).

léctrico del terreno. Una vez obtenidos los valores de resistencia a la punta R_p y de resistencia lateral R_L se superpone a la imagen de la sección del ERT correspondiente a la vertical de la prueba (Figs 3 y 4).

Estudios geofísicos

En los últimos años la Geofísica Aplicada ha avanzado en la diagnóstico que sustenta la Ingeniería Civil, junto a la evolución de los instrumentos de medida, de los algoritmos de modelización, de los software de interpretación, de los calculadores electrónicos y la experiencia adquirida por los operadores.

El soporte diagnóstico de la Geofísica Apli-

cada se revela cada vez más eficaz (y suponiendo costes cada vez más accesibles) en determinadas situaciones:

- Cuando es necesaria una visión tridimensional del problema objeto de estudio, junto a una menor exigencia de invasividad y flexibilidad a la hora de operar.
- Cuando el contexto estudiado presenta una anisotropía marcada y una heterogeneidad de condiciones en el entorno.
- Cuando las dinámicas (flujos y/o concentraciones etc.) y las condiciones de los fluidos presentes en el terreno condicionan el contexto, objeto de intervención.
- Cuando es necesario un calibrado de las pruebas mecánicas.

Entonces, ¿Por qué la geofísica aplicada moderna, no obstante sea de vanguardia tecnológica, sigue siendo considerada con escepticismo por muchos técnicos?.

Hay diferentes respuestas a esta pregunta y se pueden resumir como sigue:

- a) Escaso conocimiento por parte del técnico de los métodos geofísicos y de sus fundamentos: a veces se consideran instrumentos y conocimientos complejos y no comunes propios de profesionales pertenecientes a sectores especializados.
- b) Desgraciadamente, no faltan los aventureros improvisados. Hay que tener mucho



¿Grietas En Los Muros? ¿Grietas En Los Muros?

**Consolidación De Terrenos
Mediante Inyecciones De
Resina Expansiva**



Llama **Para Una Inspección**
y **Presupuesto Sin Compromiso**

sin compromiso
900 800 745

Solicitud de Patente Europea n. EP1914350

www.geosec.es | administracion@geosec.es



cuidado y esto resulta difícil si el usuario no tiene los conocimientos suficientes.

- c) *Lógica de los costes*: el cliente exige el mejor resultado con el menor gasto posible, muchas veces sin tener los conocimientos suficientes para evaluar las propuestas y el nivel de profesionalidad ofrecidos, y sin tener en cuenta que un análisis más preciso del problema puede suponer un ahorro en el futuro, porque se realiza la verificación de cada intervención para evitar repeticiones o nuevas intervenciones reparadoras en el futuro.
- d) Estandarización de la diagnóstico para aquellos instrumentos que se consideran más conocidos y fáciles de utilizar y que resultan más controlables por parte de un potencial Jefe de Obra cuyos conocimientos se basan en parámetros exclusivamente geotécnicos. Muchos técnicos opinan que las pruebas mecánicas *in situ* son más fiables que los estudios geofísicos, olvidando que un estudio no tiene que ser mejor que otro, sino que tiene que ser más adecuado al análisis de un problema en concreto, y las pruebas necesitan ser comparadas entre ellas. El problema más grave es que se sigue teniendo conocimientos superficiales que no tienen en cuenta el aspecto diagnóstico del problema y el resultado es una estandarización empresarial del problema que aparentan ser más ventajosas, pero que con el tiempo resultan ser muy poco eficaces y resolutivas.
- e) Escasa actividad de información técnica: la *Geofísica aplicada* es una ciencia poco difundida en el sector de la Ingeniería Civil y quizás considerada apta sólo para problemas específicos como por ejemplo la búsqueda de petróleo y de materias primas, el cuidado ambiental, la arqueología, la actividad militar excluyendo los casos más comunes de intervenciones civiles ordinarias, en las que podrían resultar una ayuda fundamental para el geólogo a la hora de evaluar, proyectar y verificar las intervenciones.

Resulta indispensable operar con una actitud crítica y concreta basada en la profesionalidad de un técnico competente que:

- 1) Establezca y realice una diagnóstica preliminar adecuada del problema con el fin de identificar las causas del mismo.
- 2) Realice un proyecto personalizado de la intervención y defina los criterios de verificación.
- 3) Confíe en una empresa apta para ejecutar dicha intervención, que tenga experiencia, personal técnico cualificado, herramientas propias, que de asistencia

constante en la obra y que tenga los certificados de los procedimientos adoptados y de los materiales.

- 4) Realice las verificaciones de la intervención tanto durante la ejecución de la obra, como una vez finalizados los trabajos.

El asentamiento diferencial en las consolidaciones con resinas

Cuando se quiere solucionar un problema de *asentamiento diferencial* de tipo vertical mediante inyecciones de *resinas expansivas*⁽⁵⁾ bajo una estructura es necesario, en primer lugar, analizar unos aspectos fundamentales entre los cuales está entender cuál es la causa del asentamiento diferencial.

Hay que evaluar en el sistema terreno/estructura donde y como ha empezado el asentamiento y si resulta ser la consecuencia de algunas variaciones/modificaciones realizadas en el edificio, como por ejemplo los niveles de carga añadidos o la nueva distribución de las cargas en la cimentación.

En alguno de estos casos el terreno bajo la construcción ya no resulta adecuado a la nueva geometría/entidad de carga de la cimentación. El problema, entonces, ya no se podrá asociar a defectos o anomalías propias del terreno (alteraciones antrópicas o naturales del suelo de cimentación) sino a las modificaciones estructurales realizadas que ya no se adaptan al antiguo sistema terreno/cimentación.

En estos casos es posible intervenir según un sistema más focalizado en la ingeniería y geotecnia, actuando sobre la estructura de cimentación (aumentando el ancho de la base de apoyo, reforzando el pie, transfiriendo las cargas a estratos de terreno más resistentes, etc.) o actuando directamente sobre el terreno de cimentación, sin tener en cuenta la estructura, con intervenciones que aumentan la capacidad de carga.

En este caso, las resinas expansivas pueden realizar una acción eficaz de compactación del fondo de cimentación hasta alcanzar los valores establecidos.

Los parámetros mecánicos permiten definir un cuadro de la resistencia mecánica del terreno en un punto preciso cercano a la inyección de resina. Para conseguir esto se consideran útiles las pruebas penetrométricas distribuidas en los puntos más adecuados según la opinión del técnico experto y cualificado (Ingeniero/Geólogo).

Se podrá también considerar una posible variación de los valores siendo conscientes

(5) *Resinas expansivas*. - Formulación química termoplásticas poliuretánicas mono y bi componente. Los usuarios profesionales diferencian dichas resinas para la consolidación en dos categorías: resinas de rápido inicio de expansión y resinas de lento inicio de expansión.

que habrá una dificultad de interpretación de los valores de esfuerzo/deformación del terreno a causa de la heterogeneidad marcada que ha causado el asentamiento.

Considerando que el terreno está constituido por tres fases (sólida, líquida y gaseosa) es necesario tener cuidado a la mutación físico-química posterior a la inyección. De hecho, cuando se inyecta una resina en un terreno que presenta vacíos, ésta, gracias a su reacción química se unirá a la parte sólida del terreno colmatando los vacíos y alejando el agua intersticial presente.

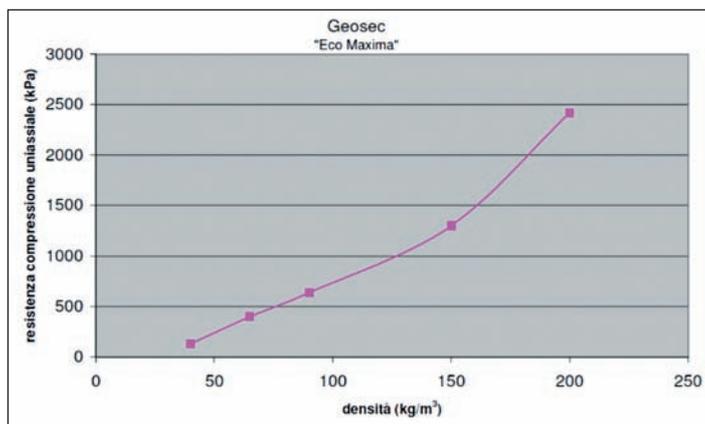
En terrenos cohesivos, en particular en los *arcillosos*, se sabe que la presencia de agua puede ser significativa durante las estaciones prevalentemente lluviosas. En estas litologías el agua, por su carácter no comprimible, resulta ser muy difícil de alejar rápidamente, por lo tanto es importante pensar en cómo gestionar la inyección de resina expansiva en condiciones de terreno con muy poco drenaje.

Por ejemplo en la **Fig. 5**, se puede observar los diferentes valores de resistencia a compresión uniaxial de la resina *Eco Maxima* en función de la diferente densidad de la fórmula (Geosec, 2006.). El estudio se ha llevado a cabo en los laboratorios de la Universidad de Estudios de Parma y en los laboratorios R&S de Parma (2008). La resina ha demostrado tener propiedades de resistencia a compresión y buenas capacidades de resistencia a tracción y a flexión.

Se observa como el proceso de consolidación del terreno tratado se lleva a cabo en un tiempo que resulta ser más largo (meses, años) respecto al tiempo de reacción y de expansión mecánica de la resina inyectada (segundos, minutos). En condiciones particulares el alejamiento del agua intersticial, empujada por la resina (en fase de expansión) no será tan inmediato como la acción mecánica de la fuerza expansiva.

Este agua, que se encuentra bajo la cimentación sin posibilidad de salida, y si es empujada por la resina, puede contribuir de inmediato al levantamiento mecánico de la estructura pero, en un segundo momento, se redistribuirá, según la permeabilidad del terreno, en un tiempo más largo respecto al tiempo de la reacción expansiva. Es evidente la importancia fundamental de la comprobación de la presencia y de la distribución del agua en el terreno a tratar, antes de las inyecciones.

Sería diferente el caso en el que el *asentamiento diferencial* resultara causado por el cambio en las condiciones del terreno de cimentación respecto a las condiciones originales, sin que se hayan llevado a cabo modificaciones estructurales del fabricado. En estos casos las acciones naturales (variaciones climáticas, interferencia con agua subterránea y flujos de fluidos en el terreno, plantas altas etc.)



[Figura 5] .- Resistencia a compresión uniaxial de muestras de resina Geosec "Eco Maxima" (valor promedio de 6 muestras) determinada según la normativa UNI 63502-68 del Laboratorio R&S (Geosec, 2006).

y las acciones antrópicas (vibraciones causadas por el tráfico de vehículos, excavaciones cercanas, pérdidas en la red de saneamiento etc.) pueden alterar los equilibrios del sistema y causar asentamientos diferenciales incluso muy rápidos y evidentes.

Queda claro que si el terreno ha sufrido una modificación, esta ha sido causada por la presencia de agua y vacíos será necesario estudiar su interior con instrumentos y diagnósticos adecuados para poder reconocer las causas del asentamiento y poder proyectar una intervención resolutoria.

En caso que el asentamiento haya sido producido por una pérdida en la red de alcantarillado, por la presencia de fluidos en el terreno, donde haya presencia de arcillas expansivas sensibles al cambio de estaciones, donde haya fuertes vibraciones que hayan producido nuevas porosidades, donde la acción de una planta alta haya creado discontinuidades cercanas a una cimentación, será fundamental ampliar el análisis del problema a una visión más abierta y tridimensional del contexto que permita reconocer la distribución espacial de los parámetros analizados y su correlación con el problema del asentamiento.

El estudio geoelectrico sustenta las inyecciones de resinas expansivas

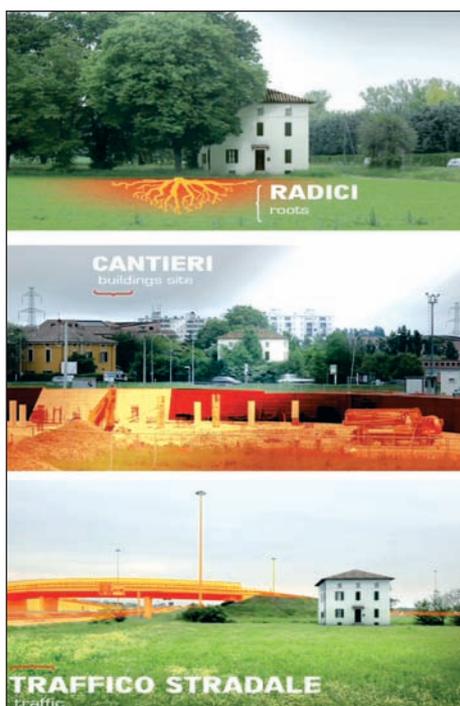
Los estudios geofísicos no invasivos basados en la resistividad eléctrica, mediante el empleo de las técnicas tomográficas tridimensionales (3D) de vanguardia, facilitan los datos que describen la distribución en el terreno de fluidos, porosidades, cavidades, es decir aquellas características del subsuelo a las cuales la resistividad eléctrica resulta sensible y, si se juntan a una prueba mecánica permiten definir la litología del subsuelo estudiado en tres dimensiones (Fig. 6).

Si dichos estudios se superponen a los datos de la dinámica en el tiempo de los asentamientos estructurales, pueden ayudar al técnico en la evaluación de las causas que han producido el asentamiento (ej. Lavados de terreno, agua intersticial etc.); esta información es

útil porque permite al técnico proyectar, comprobar y validar su trabajo durante una intervención con resinas expansivas.

Las razones que llevan a considerar este parámetro de análisis son diferentes:

1) En primer lugar, el asentamiento diferencial no siempre es un problema de aumento de capacidad de carga del terreno de cimentación; en este caso tiene más importancia entender cómo se obtiene dicho aumento y si dicho efecto se puede garantizar en el tiempo, por lo tanto el parámetro mecánico puede no resultar suficiente a la hora de describir el resultado obtenido. Seguramente la compactación del terreno de cimentación, gracias a la fuerza expansiva de las resinas, es uno de los diferentes resultados conseguidos, pero lo que hay que determinar es cómo se ha llegado de forma correcta a esta compactación.



[Figura 6].- a), b), c) algunas condiciones de interferencia con el equilibrio del sistema terreno/cimentación (Geosec, 2009).

Las resinas expansivas poliuretánicas no se inyectan a alta presión, sino que utilizan la fuerza de expansión producida directamente por la reacción química, cuya entidad mecánica se define simplemente por el contraste ofrecido por el ambiente en el que se realiza la inyección. La velocidad de reacción es rápida si es comparada con el tiempo de consolidación de los terrenos cohesivos. En estos casos, gracias al empuje mecánico de la resina (punto de máxima energía) los volúmenes de agua intersticial comprimida llegan bajo la cimentación. Inevitablemente, unos días/semanas después el agua filtrará y disminuirá dependiendo de la permeabilidad del terreno. Por lo tanto habrá que monitorizar con precisión, tanto antes, como después de las inyecciones, la presencia de estas concentraciones de agua para poderlas alejar eficazmente del volumen significativo de cimentación, actuando con el mínimo impacto mecánico, midiendo las inyecciones (pequeñas dosis) y realizándolas con una pausa (pocos minutos) entre una y la otra.

Como ya se ha dicho, la resistividad del subsuelo de cimentación está condicionada por la presencia de agua y precisamente por eso la tomografía secuencial de la resistividad eléctrica describe la variación de los fluidos antes, durante y después de las inyecciones; dicha tomografía puede demostrar si durante la intervención de consolidación, no obstante hayan sido inyectados varios kg de resina, el agua intersticial, bajo presión producida por la expansión de la resina, sigue participando en la acción de compresión.

2) Una buena parte de las litologías que se encuentra en los suelos superficiales (ej. Arcillas, limos, arenas) tienen intervalos de valores de resistividad muy característicos que las diferencian las una de las otras. El mismo principio vale para la comparación entre los suelos y los materiales que constituyen las cimentaciones.

Dichos intervalos se expresan en la **Tabla II**.

3) Las resinas expansivas utilizadas para las inyecciones, en algunos casos, entran en contraste con el terreno de cimentación.

Queda claro que, en la restitución de la tomografía 3D, los estudios geoelectricos pueden representar para el geólogo un buen soporte diagnóstico en las intervenciones de contraste de los asentamientos mediante resinas expansivas y en las diferentes etapas de evolución de la intervención misma.

La tomografía eléctrica pre-intervención facilita una primera clasificación de los terrenos encontrados (arenosos, arcillosos etc.) y permite evidenciar las anomalías importantes presentes en el subsuelo que pueden representar elementos geológicos distintivos o causas directas o indirectas del asentamiento (concen-

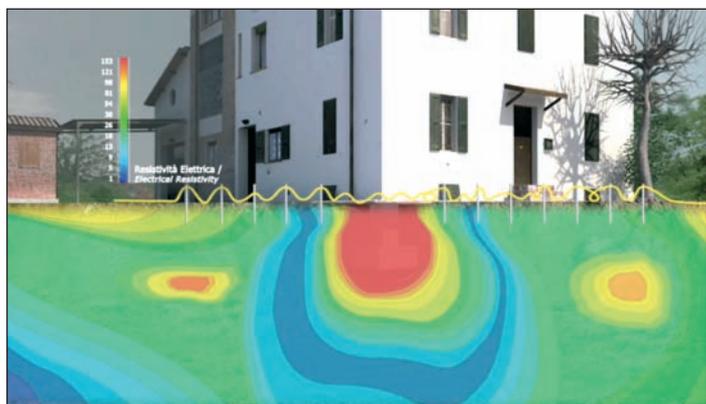
LITOTIPO	RESISTIVIDAD (Ωm)
Agua dulce	10 - 100
Agua marina	0.2 - 0.3
Arenas sueltas secas	~1000
Arenas sueltas saturadas en agua dulce	80 - 150
Limos saturados en agua dulce	15 - 50
Arcillas saturadas en agua dulce	5 - 20
Gravas secas	> 1000
Gravas saturadas en agua dulce	150 - 300

[TABLA II].- Intervalos de resistividades en función del litotipo.

traciones de agua y/o humedad, volumen de lavado de terreno por perdidas en la red de alcantarillado o vibraciones, discontinuidades del tipo arcilla/roca, rellenos/arcillas). Las tomografías eléctricas pueden ser superpuestas a los datos relativos a la dinámica estructural del asentamiento (monitorización del cuadro de lesiones del edificio) y a las pruebas mecánicas *in situ* (Fig. 7).

Durante la obra, las *tomografías eléctricas* realizadas en tiempo casi real y en diferentes momentos, permiten verificar el estado de avance de las inyecciones y modificar los parámetros iniciales del proyecto.

Al término de la intervención las medidas *a posteriori* permiten verificar el estado final del subsuelo después de la inyección de resinas expansivas y validar el resultado final.



[Figura 7].- Imagen de la tomografía eléctrica del terreno de cimentación (Geosec, 2009).

Con la expresión *resistividad eléctrica* (símbolo) entendemos la propiedad física que representa la capacidad de un material de volumen cubico con lado unitario a oponer resistencia al paso de una corriente. Se trata por tanto de una propiedad física independiente de la geometría del cuerpo atravesado ($\Omega.m$).

Mientras que se define la *resistencia eléctrica* (R) como magnitud que expresa (medida en Ω) la propiedad de un material con cualquier forma a oponerse al flujo de una corriente eléctrica. (Según la primera ley de *Ohm*, la R de un hilo conductor puede definirse como la relación entre la diferencia de potencial medida en sus extremos y la intensidad de corriente que lo atraviesa); en otras palabras, la *resistencia* se diferencia de la *resistividad* porque depende además de las características geométricas del medio expuesto al paso de corriente.

El objetivo de la tomografía de resistividad eléctrica (*ERT* acrónimo de *Electrical Resistivity Tomography*) es aquel de recrear una imagen tridimensional de la resistividad del subsuelo del cual deducir una información tan importante para la comprensión de un asentamiento, como: la geometría de la cimentación del edificio, la presencia de cavidades o huecos, estructuras enterradas, presencia de humedad y agua en el terreno, incluso la presencia de pérdidas de fluidos de implantes enterrados.

Desde el punto de vista del método el *ERT* utiliza la técnica de medida de un *SEV*, induciendo una corriente eléctrica al terreno a estudiar mediante una pareja de electrodos (*A-B*) y recibiendo con otros (*M-N*), medir la diferencia de potencial (ΔV) obtenido, la diferencia es que lo realiza utilizando un número elevado de electrodos dispuestos simultáneamente sobre el terreno. En la práctica se obtiene disponiendo una serie de electrodos en número variable y organizados según una determinada geometría, rodeando el área a estudiar o en el interior de la misma.

Un instrumento (*georesistivímetro*) emite una corriente eléctrica continua (energización) en una pareja de electrodos y mide contemporáneamente potenciales eléctricos que se reciben de su pareja electrodica. La medida de la resistividad eléctrica se realiza mediante la reducción a un esquema cuadripolar. En medios homogéneos e isótropos la resistividad (ρ) se expresa como:

$$\rho = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

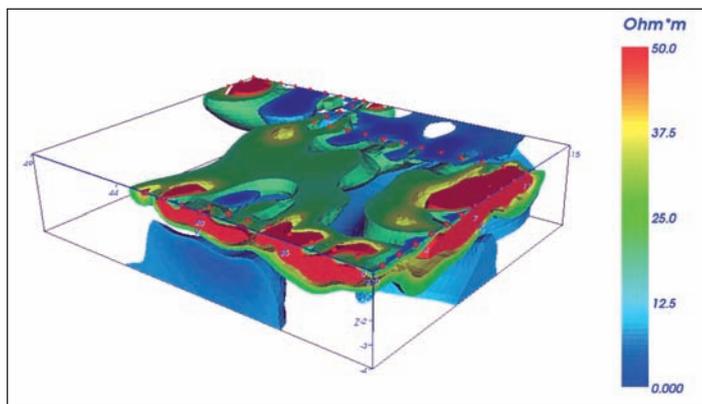
Donde K es el factor geométrico del cuadripolo, función que depende de la posición recíproca de los electrodos:

$$K = \frac{2\pi}{(1/r_1 - 1/r_3 - 1/r_2 + 1/r_4)}$$

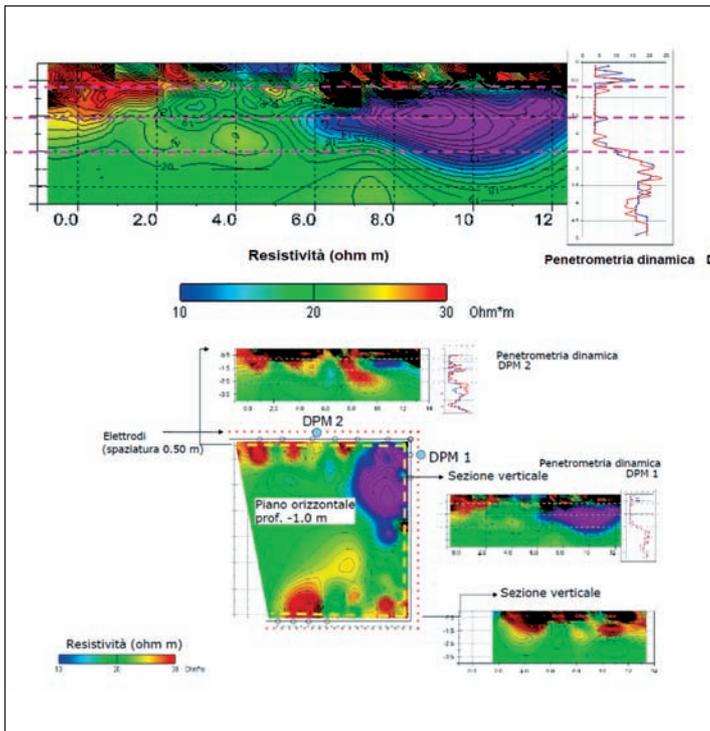
Siendo r_i las distancias recíprocas entre los cuatro electrodos. Si el medio no fuese homogéneo la diferencia de potencial ΔV estará en función, además de la distancia de los electrodos, de la distribución de la resistividad en el medio investigado. Por tanto, el valor (ρ) calculado mediante la ecuación arriba reflejada, es denominado *resistividad aparente* y puede interpretarse como la resistividad de un medio homogéneo e isótropo que se ha energizado con igual corriente de la misma diferencia de potencial entre los electrodos.

A la fase de obtención de medidas de resistividad aparente le sigue la de interpretación de las mismas: en jerga técnica se habla de *inversión*, técnica que prevé algoritmos de modelización con elementos finitos (o a las diferencias finitas) y una metodología de optimización mediante mínimos cuadrados.

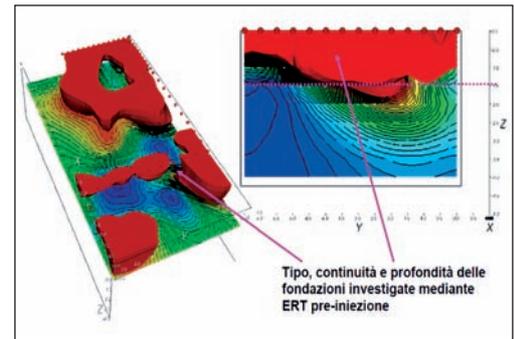
El procedimiento (interactivo) de resolución consiente en cualquier situación una evaluación de la distribución de la resistividad en el medio investigado que se traduce en una imagen gráfica de intuitiva comprensión. Intuitivamente se puede comprobar que para la ob-



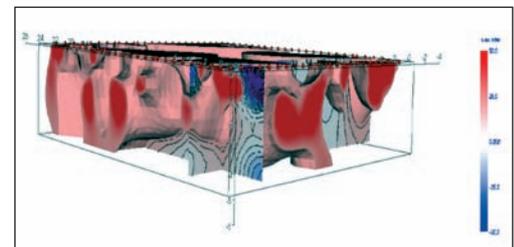
[Figura 8].- Representación 3D de la distribución de resistividad ρ en un terreno de cimentación (Geosec, 2009).



[Figura 9].- En morado: representación ERT de una pérdida en la red de alcantarillado bajo una vivienda (Fischanger, Occhi 2007).



[Figura 10].- En rojo: a) representación 3D de una estructura de cimentación; b) sección 2D cercana a la cimentación continua de un edificio residencial que presenta desarrollo horizontal y profundidad de la estructura (Geosec, 2008).



[Figura 11].- Representación 3D de la variación % de resistividad ($\rho\Delta\% > 30\%$ post intervención mediante inyecciones. (Fischanger, Morelli, Douglas, Occhi 2007).

tención de una imagen como las recogidas en las (Figs. 8 y 9) es necesario inducir al terreno una corriente continua en más puntos.

Se refleja la distribución de la resistividad del medio atravesado por la corriente variando en función de las características físico químicas propias de cada material. Los datos obtenidos (resistividad aparente) sirven para construir un modelo matemático que permite restituir una imagen 3D del terreno, al que se le asigna un registro dentro de la escala cromática, en el que diferenciar volúmenes de terreno homogéneo que se corresponden a un mismo valor de resistividad que representa cualitativamente la naturaleza del medio atravesado diferenciando cada una de las litologías, minerales y metales, materiales de construcción (cemento, ladrillo, etc.) humedad y/o agua en el terreno. En las imágenes de las figuras 8 y 9 podemos diferenciar los volúmenes de terreno con presencia de agua (en color azul), pérdidas al terreno de una red de saneamiento (color violeta - imagen de la Fig. 9).

Cada color de la imagen representa una determinada resistividad estimada.

Como método de control de las inyecciones juega un importante papel detectando el posicionamiento de la resina (si efectivamente se emplaza en una macro cavidad o si es efectivo la reducción y alejamiento del agua intersticial presente en el terreno en el que se interviene, (como ocurre en terrenos arcillosos).

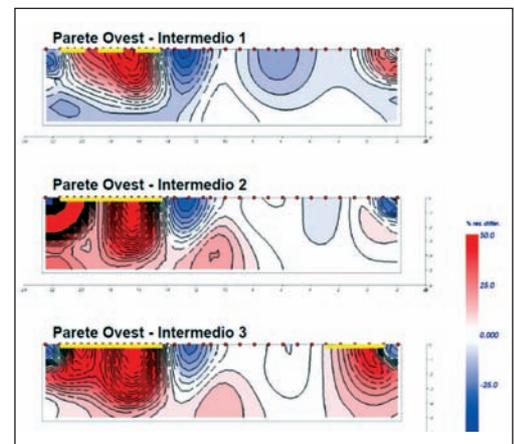
Este sistema diagnóstico permite el poder confrontar, en plena operatividad y transcurso del trabajo, la imagen previa a una inyección con la que durante y/o a la finalización de la

misma resultaría producto de la interacción con el terreno, permitiendo al técnico visualizar una única imagen final (Figs. 11 y 12) con las diferencias de resistividad obtenidas gracias a la resina inyectada.

También en este caso, con el fin de ayudar a aclarar los conceptos hasta aquí expuestos, con una escala cromática, mas simplificada que la precedente, donde en color rojo se indican los volúmenes de terreno que han incrementado su resistividad. ($\Delta\%$, variación % de resistividad), en particular, en la figura 12, vemos la variación de resistividad tras dos secuencias de inyección. La primera en el lado izquierdo y la segunda en el lado opuesto derecho.

En un terreno con baja resistividad por la marcada presencia de agua, gracias a las inyecciones expansivas incrementa su resistividad (en color rojo) implicando que se ha llevado a cabo una reducción del contenido en agua que se va drenando.

Se trata por tanto de un método que nos da información precisa acerca de las causas de los asentamientos y permite el control y verificación de procesos tales como el relleno de cavidades o alejamiento del agua desplazados por la expansión de la resina hacia puntos de menor energía.



[Figura 12].- Representación 2D de la variación % de resistividad durante dos secuencias de inyecciones, la primera en la parte izquierda y la segunda en la derecha (Fischanger, Morelli, Douglas, Occhi 2007).

GEOSEC ESPAÑA, S.L.
 Avda. San Pablo, 31 - nave 23
 28823 Coslada (Madrid)
 ☎: 916 717917 • Fax: 916 737 334
 E-m: tecnico@geosec.es
 Web: www.geosec.es

Aplicación del georradar al túnel y la bocamina del Puerto de la Cruz Verde (Madrid)

Diagnóstico y análisis del revestimiento de túneles de mampostería mediante técnicas no destructivas

El georradar es una de las técnicas no destructivas más empleadas en el análisis de estructuras y patrimonio histórico. El presente estudio analiza las posibilidades de esta técnica en el caso particular de túneles de mampostería, un tipo de construcción muy habitual en túneles ferroviarios y metro de los siglos XIX y principios del XX, que abundan mucho en toda la geografía española. El método habitual de ejecución del revestimiento era mediante cimbras para colocación de sillares, mampuestos y ladrillos, que generaban huecos sistemáticos, especialmente en hombros y clave. Este hecho es muy nocivo para la durabilidad de la obra, ya que supone empujes asimétricos y vías preferentes de degradación y circulación de aguas. Se analiza un túnel o galería minera de 1950 en Madrid, en el puerto de la Cruz Verde, cuyo revestimiento es de mampostería. En él se ha llevado a cabo una campaña de georradar (mayo de 2010) con antena de 2 GHz, para la correcta ubicación y medición de zonas con huecos en el trasdós.

España es uno de los países del mundo con mayor número de túneles. Resulta de vital importancia el estudio del estado en que se encuentran los túneles existentes. Actualmente existen en el territorio español numerosos túneles ferroviarios antiguos así como numerosos en desuso. En muchos de estos últimos se proyectan rutas verdes y muchos trazados nuevos pasan cerca de ellos. Dado el gran número de túneles existentes es preciso establecer por un lado una metodología de fácil aplicación para los técnicos encargados de su mantenimiento. Así como criterios de actuación para las autoridades competentes.

El georradar, ampliamente empleado en estudio de revestimientos de túneles en el mundo entero, tiene uno de sus mejores campos en las estructuras de mampostería. El presente trabajo pretende establecer el alcance de la metodología con un sitio piloto o test: un túnel minero de fácil acceso.

Palabras clave: GEORRADAR, HUECOS, MAMPOSTERIA, REVESTIMIENTO, TÚNEL.

L. JORDÁ, Dr. Ing. de Minas.
GEOCONSULT ESPAÑA, ING. CONSULTORES.

La inspección de túneles antiguos así como la verificación de la correcta ejecución de los modernos requiere de técnicas fiables y de fácil implantación. Habitualmente los túneles se inspeccionan visualmente complementándose cuando se requiere con taladros de inspección. Las técnicas llamadas *no-destructivas* se basan en la geofísica, donde la naturaleza del terreno o sus anomalías se infieren a partir del análisis de propiedades físicas.

Los túneles revestidos de mampostería se ejecutan habitualmente con una entibación provisional que puede hacer las veces de cimbra (Fig. 1), y cuya cuantía en madera dependerá de las características del terreno y de la

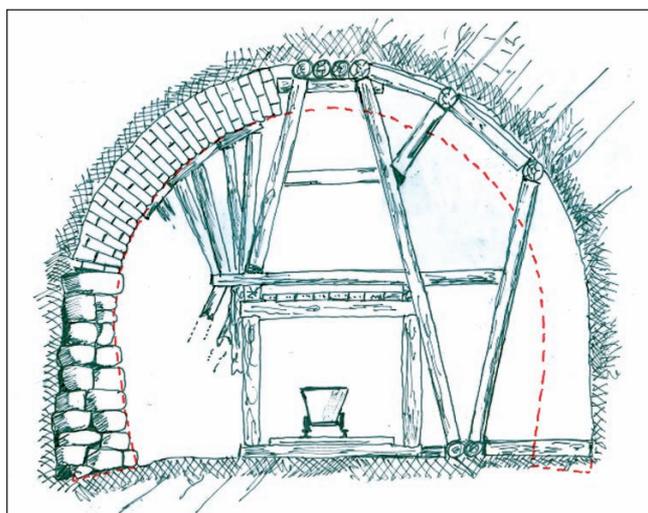
sección. Es frecuente que el revestimiento no quede del todo solidario con el terreno y que aparezcan numerosos huecos ya desde su acabado o bien *a posteriori*, debido a la alteración del entibado dejado en el trasdós.

La investigación del revestimiento de un túnel antiguo tiene por objetivo cuantificar el espesor del mismo, así como detectar los diferentes materiales que lo conforman y en especial interfases entre sillares y la rosca de ladrillo en clave y hombros. Es muy frecuente detectar huecos sistemáticos en clave y hombros (Fig. 2) debido a un deficiente trasdosado o por la formación de campanas en clave por efecto dominó hacia un hueco preexistente.

Metodología

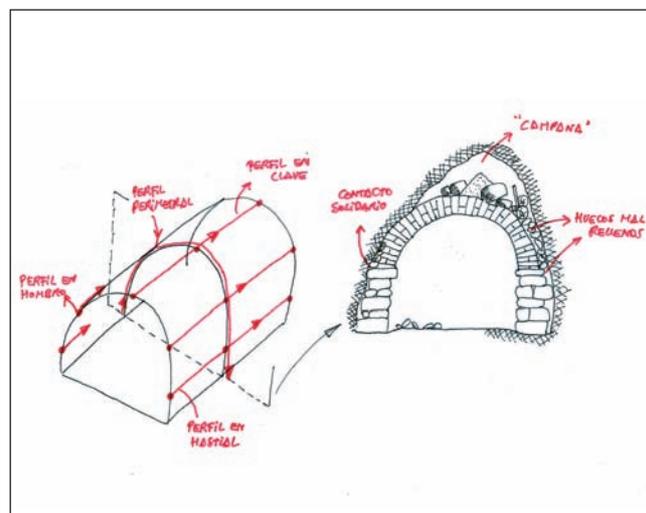
Fundamentos de georradar

La técnica del georradar consiste en emitir, mediante una antena situada junto al intradós del revestimiento del túnel, ondas de radar ha-



[Figura 1] .- Esquema de la ejecución del revestimiento de mampostería de un túnel en roca.

[Figura 2].- Esquema preferente de la auscultación de un túnel antiguo mediante georradar.



cia el interior del terreno. Las ondas sufren una serie de reflexiones y atenuaciones en función de las características del material atravesado, y regresan al túnel, donde son captadas por otra antena receptora (Comejo y Salvador, 1996). Las ondas de radar son ondas electromagnéticas, situadas en una banda habitualmente entre 25 MHz y 2 GHz de frecuencia, siendo por tanto similares a las ondas de radio.

Según sea la frecuencia de la onda (ligada a una antena particular) se consiguen distintas penetraciones. A mayores frecuencias, la longitud de onda es menor, por lo que la sensibilidad del método es mayor, pero su alcance más reducido. Por el contrario, con ondas de longitud mayor y menor frecuencia, el alcance es mayor y la sensibilidad es menor.

La metodología habitual de trabajo consiste en emplear el georradar en toda la longitud a estudiar, en diferentes zonas del túnel tales como clave, hombros y hastiales (Fig. 3) y rea-lizar taladros de comprobación en algunos de los puntos singulares o de anomalías detectados (Fig. 4). Previamente es preciso disponer de zonas en las que se conozca el espesor del revestimiento, con el fin de calibrar la ley de velocidades de radar, o bien es preciso algún taladro preliminar. No en vano el radar es una técnica indirecta, que mide ecos de tiempos doble, no espacio.

La prospección geofísica por radar se engloba dentro de los métodos electromagnéti-



[Figura 3].- Auscultación de clave en línea antigua de metro mediante antena de georradar de 400 MHz.



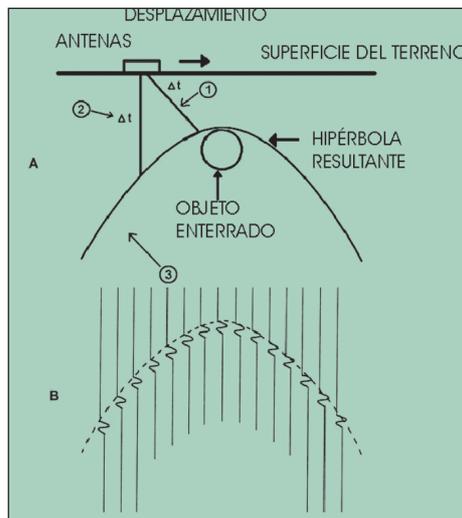
[Figura 4].- Detalle de un taladro realizado en zona de ladrillo de clave con objeto de calibrar los espesores.

cos de alta frecuencia. Los reconocimientos mediante georradar se basan en el estudio de la propagación de ondas electromagnéticas en el subsuelo, en un dominio de frecuencias que varían entre unas decenas de MHz hasta algunos GHz. Son ondas emitidas como impulsos temporales de muy corta duración, desde una antena emisora que se desplaza por la superficie del terreno. Cuando estas ondas se encuentran con un contraste dieléctrico, se reflejan hacia la superficie donde sus características son medidas por una antena receptora (Figs. 5 y 6).

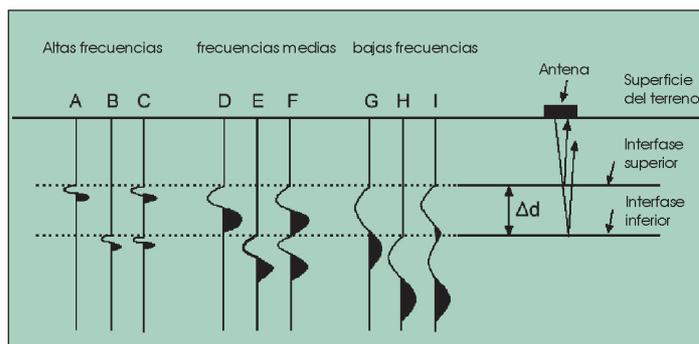
El primer resultado en la prospección, es el radargrama bruto o corte en función del tiempo. En abscisas, de derecha a izquierda se representa el espacio recorrido, en ordenadas, el tiempo de llegada de las reflexiones y difracciones de la onda electromagnética. El siguiente paso consiste en filtrar e interpretar la señal, así como obtener un corte en función de la profundidad. El resultado es un radargrama interpretado y corte en profundidad (Tabla I).

Estado del arte

En 1988, Granda y Camberro ya publican internacionalmente los resultados satisfactorios de la aplicación del georradar al estudio del re-



[Figura 5].- Esquema de la formación de una hipérbola de difracción, señal característica del radargrama.



[Figura 6].- Esquema de la pérdida de resolución con la frecuencia decreciente.

Profundidad (m)	Frecuencia central de la antena (MHz)
0,5	1000
1,0	500
2,0	200
7,0	100
10,0	50
30,0	25
50,0	10

[TABLA I].- Profundidades típicas de penetración en función de la frecuencia de la antena (VVAA, 2006) .

vestimiento-sostenimiento de un túnel en la línea de alta velocidad Madrid-Sevilla. En 1993, Romero y Peláez publican en la Revista de Obras Públicas los trabajos de auscultación realizados en dos túneles ferroviarios en el Puerto de Pajares realizados en 1991. Las técnicas empleadas fueron la radiación gamma natural, resistividad eléctrica, termografía infrarroja y georradar. Para la interpretación final se realizaron perfiles combinando técnicas tales como el georradar (antenas de 500 MHz y de 1000 MHz) con termografía infrarroja; concluyen que el georradar facilita información únicamente sobre el tipo de revestimiento y no tiene alcance suficiente para suministrar información sobre el tipo de roca en el trasdós o el espesor del revestimiento.

Uno de los trabajos de recopilación más completos hasta la fecha sobre el estado del arte en técnicas no destructivas en la inspección de túneles se debe a Haack y otros (1995), titulado *State-of-the-art of Non-destructive Testing Methods for determining the State of a Tunnel Lining* (Estado del arte de métodos de ensayo no destructivos para la determinación del estado del revestimiento de un túnel). Como resultado 3 técnicas aparecen como de alta o muy alta aplicabilidad: Georradar (dentro de las que llama técnicas eléctricas o electrónicas), las técnicas ópticas con termografía infrarroja y análisis multiespectral.

Comejo Álvarez L., y Salvador Martínez, E., (1996) en su *Manual de túneles interurbanos de*

carretera, dedican el capítulo 16 al mantenimiento y reparaciones, indicando los métodos más apropiados para el estudio e inspección. Indican 5 métodos geofísicos describiendo con detalle dos de ellos: georradar y termografía que señalan para la investigación preliminar.

La primera publicación técnica recopilatoria específica sobre georradar en castellano de cierta entidad se debe a *Lorenzo Cimadevilla* (1996), monografía publicada por el CEDEX bajo el título *Prospección geofísica de alta resolución mediante Geo-Radar. Aplicación a Obras Civiles*. En 1998 *López Guarga* publica el trabajo *El túnel de Somport: estudios previos, proyecto y construcción*. En él describe la aplicabilidad de varias técnicas destructivas y no destructivas en el túnel ferroviario existente. *Estébanez* (2000) publica un trabajo sobre reparación y reconstrucción de túneles. En él desarrolla un amplio apartado sobre técnicas de investigación no destructivas.

En general todos los estudios que se presentan sobre técnicas no destructivas (NDT) para auscultación de estructuras, más o menos están orientados de la misma forma: una parte teórica o de modelos y otra de ensayos a escala real. Dando cada vez más importancia a estos últimos (Fig. 7).



[Figura 7].- Auscultación de los hastiales del túnel de Mariaga mediante antena de 400 MHz.

Equipo empleado

La unidad de control de radar empleado es una DAD, de la firma italiana IDS. Dada la profundidad a la que se pretende escanear y la resolución, se ha utilizado una antena de 2 GHz. Los perfiles se han obtenido con el software específico IDS-k2, y se han filtrado con IDS-Greswin. Se ha empleado una velocidad de propagación de 100 mm/ns.

Emboquille de la mina de magnesita abandonada del Puerto de la Cruz Verde (Madrid)

Se trata de una mina de magnesita con labores de interior y exterior explotada entre 1941 y 1983 situada en el mismo Puerto de La Cruz Verde, en la provincia de Madrid. Constaba de

una gran corta a cielo abierto ya restaurada en la vertiente de El Escorial de dicho puerto y dos galerías a diferente cota en el lado de Robledo de Chavela. La bocamina estudiada (Fig. 8) tiene una altura aproximada de 2,0 m y una anchura de 2,5, con mampuestos de roca en hastiales y ladrillo en hombros y clave y con una capa de enlucido (Figs. 9 y 10).

Los resultados de los perfiles de georradar muestran un hueco sistemático en la clave de la galería minera (Figs. 11 y 12) debido a deficiencias en el trasdosado y la presencia de numerosas campanas. La zona de hombros y hastial ejecutados en ladrillo muestran una línea o reflector nítido, debido probablemente a



[Fig. 8].- Emboquille de la mina abandonada de magnesita del Puerto de la Cruz Verde (Madrid).



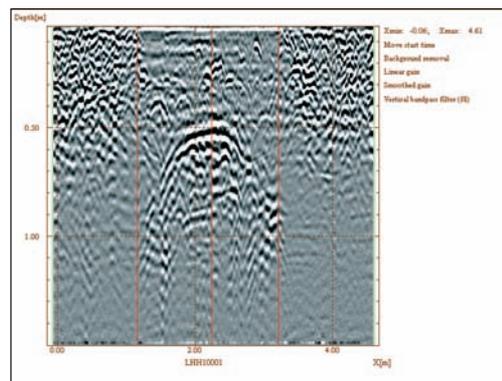
[Figura 9].- Perfil de georradar con antena de 2 GHz en el hastial de la mina del Puerto de la Cruz Verde.



[Figura 10].- Auscultación de los hastiales del túnel de Mariaga mediante antena de 400 MHz.



[Fig. 11].- Detalle de los huecos sistemáticos que se forman en la clave de la galería minera. Puerto de la Cruz Verde (Madrid).



[Figura 12].- Perfil desarrollado, realizado según el perímetro de la galería minera.

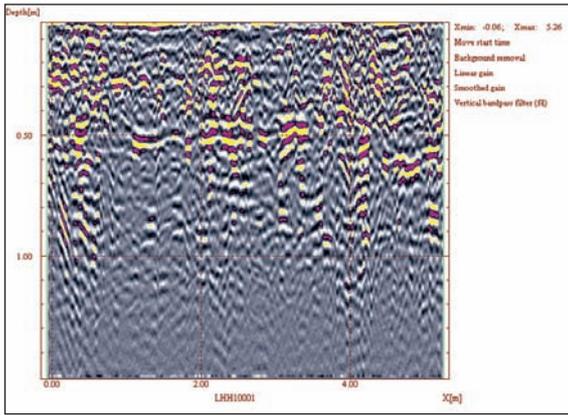
un pequeño hueco entre ladrillo y roca (Fig. 13). Los perfiles realizados en la parte baja, de sillares de roca no presentan huecos (Fig. 14).

En la Fig. 12 se muestra desarrollado un perfil de georradar en una sección de galería, de esquina inferior izquierda a esquina derecha pasando por la clave. La parte izquierda corresponde al hastial izquierdo, hasta la marca roja, en que empieza el ladrillo, el centro es la clave y sucesivamente desciende hasta el hastial derecho de roca (última marca roja). Nótese el reflector marcado del hueco de clave en el centro del perfil (antena de 2 GHz, la penetración es variable entre 0,7 y 1,0 m).

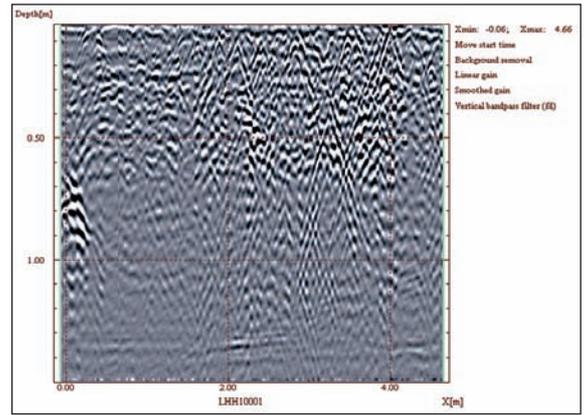
Conclusiones

Los túneles revestidos con mampostería muestran habitualmente un hueco sistemático en clave, el cual es fácilmente detectable mediante georradar empleando cualquier tipo de antena; si bien, según sea la profundidad y resolución buscada en la inspección se empleará una u otra frecuencia. En general, antenas de 400 – 600 MHz representan un buen compromiso entre resolución y penetración. Si bien para espesores de menos de 50 cm y mampostería de ladrillo es preferible alta frecuencia, para lo que se recomienda antenas de más de 800 MHz.

Según sea la calidad de ejecución del túnel, aparecerán más o menos huecos en la zona de



[Figura 13].- Perfil realizado en el hastial – hombro de la galería minera en rosca de ladrillo (mina de la Cruz Verde, antena de 2 GHz).



[Figura 14].- Perfil realizado en la parte inferior de sillares (mina de La Cruz Verde, antena de 2 GHz).

hombro y hastiales. En general estos huecos son menores que los que se producen en clave y suelen estar formados por un acumulo de fragmentos rocosos de la parte superior. Dado que en hastiales el espesor de revestimiento es mayor que en clave (ladrillo), parece lógico emplear antenas de radar de media frecuencia, en general menores de 600 MHz, puesto que con antenas de mas de 1 Ghz se corre el riesgo de no alcanzar mas alla del sillar (1,0 m).

El túnel investigado presenta sillares y mampuestos de roca en hastiales y rosca de ladrillo en hombros y clave. Los huecos en trasdós son una generalidad si bien a veces son difíciles de identificar y de separar de las difracciones que se producen en las oquedades entre los propios mampuestos.

Agradecimientos

Los trabajos realizados se enmarcan en el proyecto PTQ 09-01-00094 del subprograma Torres Quevedo de Luis Jordá Bordehore en el Plan Nacional de I+D+i 2008- 2011 con el proyecto de investigación trienal titulado: Puesta a punto de una metodología no destructiva en

base a técnicas geofísicas para el estudio de cavidades, túneles y obras subterráneas: abandonados y en servicio.

Bibliografía

- (1) ESTÉBANEZ SANCHEZ, E. *Reparación y reconstrucción de túneles. Ingeotúneles. Vol 3 (2000). P. 419-454.*
- (2) CORNEJO ÁLVAREZ, L.; SALVADOR MARTÍNEZ, E. *Manual de túneles interurbanos de carretera, p. 211, Gobierno Vasco, Departamento de Transportes y Obras Publicas. 1996.*
- (3) GRANDA, A.; CAMBERO, J.C. *Inspection of tunnel lining of the Madrid-Sevilla ave railway through georadar. Proc. IV Meeting of EEGS (European Section). Inst. Geografico National, Barcelon, pp. 531- 534. 1988*
- (4) HAACK A., SCHREYER, Y JACKEL, G. *State-of-the-art of Non-destructive Testing Methods for Determining the State of a Tunnel Lining. Tunneling and Underground Space Technology, Vol 10, nº 4, (1995), pp. 413-431.*
- (5) LÓPEZ GUARGA, R. *El túnel de Somport: estudios previos, proyecto y construcción. Ingeotúneles. vol 1 (1998), p. 387-458.*
- (6) LORENZO CIMADEVILLA, E. *Prospeccion geofisica de Alta Resolución mediante Geo-Ra-*

- dar. Aplicación a Obras Civiles. p. 198. Monografías, CEDEX, Ministerio e Fomento. 1996*
- (7) MINGUEZ MATURANA, R.; CALVO MARTÍNEZ, C.M.; RODRÍGUEZ ANDRINO, M. *Aplicaciones de georadar para el estudio de túneles. Ingeopres nº 170 (2008), pp. 62-66. 2008.*
 - (8) ROMERO, R; PELÁEZ, M. *Auscultación de túneles. Revista de Obras Públicas, nº 3317 (1993), pp. 63-67*
 - (9) V.V.A.A. (1995). *Les methods de diagnostic pour les tunnels revetus, (AFTES, Groupe de Travail nº 14. texte des recommandations relatives). Tunnels et ouvrages souterraines, nº 131, pp. 287-306.*
 - (10) V.V.A.A. (1998). *Guide pour la surveillance, l'entretien, la conservation des tunnels routiers. CETU, Centre d'etudes des tunnels. 127 pp.*
 - (11) V.V.A.A. (2006). *GSSI Handbook for Radar Inspection of Concrete. Geophysical Survey Systems, Inc., Salem, N.H.*

GEOCONSULT ING. CONSULTORES, S.A.
 Valentín Beato, 24 • 28037 Madrid
 ☎: 913 041 846 • Fax: 913 042 047
 E-m: l_jorda@geoconsult.es
 Web: www.geoconsult.es



Para tener éxito debe asegurarse de que no existen agujeros en su proyecto.

Salvo que sea lo que esté buscando.

SÜD-CHEMIE le ofrece todas las soluciones fluidas que pueda necesitar para la ejecución de obras subterráneas: sondeos, túneles, hinca de tubería, PHD, pantallas, pilotes, inyecciones, etc.

- LODOS BENTONÍDICOS: gama BENTONIL®
 - LODOS POLIMÉRICOS: SC MUD®

- SISTEMAS ESPUMANTES: SC FOAM®
 - ADITIVOS para complementar estos sistemas

SÜD-CHEMIE ESPAÑA, S.L.
 Camino de la Magdalena, s/n – 45210 YUNCOS, Toledo (España)
 Tel.: 925 53 70 83 – Fax: 925 53 75 75
 e-mail: customer.service@sud-chemie.com
 website: www.sud-chemie.com

SÜD-CHEMIE
 CREATING PERFORMANCE TECHNOLOGY

Tecnología Sika en la Variante de Ferreries (Menorca)

El proyecto, ejecutado por la UTE Ferreries, consiste en la construcción de un tramo de carretera de calzada única de 4,8 km de longitud entre los pk 26,250 y 30,480 de la carretera ME-1, que cruza de este a oeste la isla de Menorca. La velocidad de proyecto es de 80 km/h (C-80) y la sección está constituida por dos (o tres) carriles de 3,50 m de arceles de 2,50 y bermas de 0,75 m.

La obra está dividida en dos tramos, el primero de los cuales tiene unos 1,3 km de longitud y consiste en una mejora del acondicionamiento del trazado de la carretera existente, con la incorporación de un tercer carril para vehículos lentos. El segundo tramo, de unos 3,5 km, es una variante del casco urbano de Ferreries. Los dos tramos están separados por la rotonda de *Cala Galdana*, a la cual confluyen también la carretera ME-22 hacia *Cala Galdana* y el actual ME-1, que se queda como acceso oeste en *Ferreries*, además del camino de la base y el camino d'Algender.

Al final del tramo 2, al extremo este de la obra, se proyecta el semienlace de Mahón sólo con los movimientos que van y vienen de esta ciudad. El cruce del ramal de entrada bajo la variante se ha resuelto mediante una pérgola con aligeramientos curvos tanto en planta como en levantado.

En el centro de este tramo tiene lugar el enlace de *San Patricio*, de tipo diamante con rotonda, que permite el acceso al polígono industrial de *Ferreries*. El cruce de la variante sobre la rotonda se produce mediante un viaducto de 122 m de longitud distribuido en tres vanos.

Entre la rotonda de *Cala Galdana* y el enlace de *San Patricio* se proyecta un túnel de 252 m de longitud total y un tercer carril para

Sika, la empresa líder en soluciones para la construcción, está presente como uno de los suministradores integrales de productos en esta obra excepcional - tanto por sus características técnicas, volumen de contratación y objetivos - para la isla de Menorca, que resuelve los problemas de capacidad y seguridad vial de la actual carretera a su paso por Ferreries.

Palabras clave: ADITIVO, CALZADA, CARRETERA, FIBRAS, HORMIGÓN PROYECTADO, SECCIÓN TRAMO, TÚNEL.



Leandro ALVAREZ. FERROVIAL.
Alberto REY. SIKA.

permitir adelantamientos en sentido Mahón-Ciudadella.

El túnel tiene una sección de 140 m², definida por una curva circular de radio 7,64 m y se ha diseñado cumpliendo los siguientes condicionantes, definidos en Instrucción de Carreteras, Norma 3.1-IC (Trazado) aplicable al territorio del Estado:

- **Gálibo vertical:**

En aquellas zonas accesibles a los vehículos (carriles y arceles), una altura mínima libre de 5 m. Por tanto, este gálibo se medirá al borde de la acera.

En aceras, una altura mínima libre de 2,00 m medidas al borde interior de la acera.

- **En plataforma:**

3 Carriles de 3,5 m; arceles de 1,0 m; un mínimo de 0,75 m de aceras. Además, si-

guiendo de las especificaciones del PPTP, se incorpora una mediana de 5,2 m.

A la salida del túnel en dirección Mahón se proyecta una estructura para el cruce sobre una vaguada y dos caminos de acceso a la zona de *Son Blanc*. Tiene un único vano de 36 m con tablero mixto de hormigón y acero de canto variable.

Las estructuras se completan con dos marcos de hormigón armado de 3 x 2,5 m a comienzos del tramo 2, un para el paso del vial de no motorizados que rodea la rotonda de *Cala Galdana* y otro para el paso de ganado.

También se han adaptado al paso de ganado y de vehículos diversas obras de drenaje transversal y garantizan la permeabilidad.

El proyecto se elabora a partir de la solución base proporcionada por el Consejo Insular de Menorca y constituida por el proyecto de trazado de abril de 2004 con cuatro prescripciones que suponen las modificaciones siguientes:

- El enlace de *Cala Galdana* modifica su tipología, y se proyecta en su lugar una intersección tipo rotonda.
- Para cumplir la distancia mínima de seguridad entre entradas y salidas, el acceso este en *Ferreries*, se reduce a un semienlace con los movimientos que van y vienen de Mahón, con la supresión de los movimientos correspondientes que van y vienen de *Ciudadella*, que se realizan por los otros dos.
- Los ramales del enlace de *San Patricio* se alargan para que tengan más de 250 m y se trazan tangentes a la rotonda, el radio de la cual aumenta hasta 45 m.



Detalle del emboquille del túnel de la Variante de Ferreries.

Hormigón proyectado en el túnel empleando un robot Sika PM 500.



- Todos los ramales de los enlaces cumplen la condición de pendiente mínima del 0,5%, o del 0,2% cuando la inclinación de la línea de máxima pendiente de la plataforma es superior al 0,5%.
- Entre el enlace de *San Patricio* y la rotonda de *Cala Galdana* se incorpora un carril de vehículos lentos en sentido Ciudadella, y al túnel se mantiene una sección de tres carriles de 3,50 m con media de 1 m, arcenes de 1 m y aceras de 0,75 m.

Trazado

Trazado en planta

La longitud aproximada de la variante es de 4,8 km, dividida en dos tramos:

- *Tramo I*: entre el pk 30,480 de la carretera *ME-1* y la rotonda de *Cala Galdana* de 1,3 km.
- *Tramo II*: entre la rotonda de *Cala Galdana* y el pk 26,250 de la carretera *Me-1* de 3,5 km.

Tramo 1

En los primeros 200 m el trazado se sitúa en recta sobre la carretera *ME-1*, de la cual se realiza un ensanchamiento y mejora. Posteriormente, el trazado se desarrolla en un sistema de tres curvas de signos contrarios, de radios: 270,-265 y 265, con otra curva posterior de radio 200 m, que es la que da acceso a la rotonda de *Cala Galdana*.

A partir del pk 0,207 al margen derecho se habilita un carril lento que transcurre hasta la rotonda de *Cala Galdana*.

En la rotonda de *Cala Galdana* se proyecta la reposición de dos caminos existentes y se repone la carretera de acceso en *Ferrerías* oeste y a *Cala Galdana*.

Tramo 2

En este segundo tramo es dónde se desarrolla propiamente la variante, puesto que tras la rotonda de *Cala Galdana* la carretera discurre al norte del casco urbano de *Ferrerías*, en una serie de tres curvas y contracurvas de 500 m,-500 m y 1.000 m de radio; dentro de la última curva se proyecta el *túnel de Ferrerías*, de 252 m de longitud total.

Posteriormente la traza discurre al norte del Polígono Industrial, donde se sitúa el enlace tipo diamante con rotonda central denominado *Enlace de San Patricio*, que dota a *Ferrerías* y a *San Patricio* de accesos. Hace falta destacar que desde el ramal 1 de este enlace, en sentido Ciudadella, se habilita un carril lento que discurre hasta llegar a la *Rotonda de Cala Galdana*.

El enlace de *San Patricio* se implanta sobre una recta de 334 m de longitud, tras la cual se

desarrollan dos curvas circulares en S de radios 1.000 m y 560 m con longitudes de curva de 660 m y 492 m respectivamente.

El trazado sigue al norte de la *ME-1* y se conecta a ella, a través de un enlace denominado semienlace de Mahón que permite, a través de un ramal directo, conectar el actual *ME-1* desde *Ferrerías* con la variante, y de un ramal semidirecto que permite el acceso a *Ferrerías* desde Mahón.

Como consecuencia de la necesidad de acomodarse a la carretera existente, desde el pk 3,203 hasta el final se realiza un refuerzo de firme de la carretera existente.

Trazado en alzado

Tramo 1

El alzado del tramo 1 se realiza siguiendo los criterios marcados por la Instrucción de carreteras 3.1-IC. La pendiente máxima es de 6% y los parámetros de los acuerdos mínimos 4.050 y 3.924, cóncavo y convexo respectivamente.

Al inicio del tramo, el alzado se ajusta más a la calzada existente, para así poder realizar un mejor aprovechamiento. Posteriormente el alzado se ajusta con objeto de reducir al máximo el impacto ambiental.

Las carreteras de acceso a la *Rotonda de Cala Galdana* se han diseñado con pendientes suaves tratando de adecuarse de la mejor forma al acceso existente.

Tramo 2

Del mismo modo que al tramo 1, la rasante se ha diseñado para una *Vp* de 80 km/h. La pendiente máxima es de 3% y los parámetros de los acuerdos mínimos 5.000 y 2.950, cóncavo y convexo respectivamente.

Al inicio del tramo, el alzado se ajusta al 3% a la zona del túnel y más adelante se desarrolla de forma que permite el paso de caminos, carreteras, etc. y asegura, por lo tanto, el gálibo a los pasos inferiores agrícolas y a los viaductos existentes en este tramo, sobre los caminos de acceso en *Son Blanc* y al enlace de *San Patricio*.

Las carreteras de acceso a *San Patricio* y a *Ferrerías* centro, se han diseñado con pendientes suaves y se han tratado de adecuar de la mejor manera al acceso existente.

Los ramales de todos los enlaces se han diseñado para una *Vp* de 60 km/h. Así pues, tanto la pendiente como los parámetros de los acuerdos están sujetos a aquello que establece la Norma de Trazado 3.1-IC.

Tras el semienlace de Mahón, hasta el final, se realiza un refuerzo del pavimento existente y, por lo tanto, es necesario ajustar más la rasante a la calzada existente para así poder realizar un mejor aprovechamiento.

Sección transversal

La sección tipo normal del tronco de la variante es la de una calzada formada por dos carriles de 3,50 metros, arcén exterior de 5,20 m y berma de 0,75 metros. El ancho total de la sección es, por lo tanto, de 13,5 metros.

Entre el pk 0,207 y la rotonda de *Cala Galdana* se proyecta un carril para vehículos lentos en sentido Mahón, y entre el enlace de *San Patricio* y la rotonda de *Cala Galdana* otro en sentido contrario. Además de estos tramos hay otras zonas dónde la sección tipo presenta variaciones:

- Zonas de ampliación de bermas (bermas de despeje) debido a la necesidad de aumentar la visibilidad de desempleada por mantener la velocidad mínima de 80 km/h.
- Carriles de cambio de velocidad (aceleración y desaceleración) a los enlaces. Para el dimensionado se ha aplicado la norma 3.1-IC.
- La sección tipo normal de los ramales unidireccionales estará formada por una calzada de 4 m más los sobreesbaldos calculados según la Instrucción 3.1-IC, arcenes derechos de 2,5 m, arcenes izquierdas de 1 m y bermas de 0,75 m.
- La reposición de los caminos de la *Base y d'Algendar* se hace con 5 m de calzada con arcenes y bermas de 75 cm, mientras que la reposición de los de acceso a *Son Blanc* son de sólo 5 m de calzada.

Soluciones Sika

Sika ha participado en la optimización de las fórmulas de trabajo del hormigón proyectado



Detalle del emboquille del túnel y la colocación de los primeros cuadros.

desde el inicio de las obras junto con los responsables de UTE Ferrerries y las empresas subcontratadas para la excavación y sostenimiento del túnel (*Geotunnel*) y el suministro del hormigón (*Hormigones Kentucky*).

De esta forma, para la elaboración del hormigón proyectado se ha posicionado un aditivo superplastificante de última generación **ViscoCrete 5980** que completa la gama de aditivos disponibles en la planta (Gama **SikaPlast**).

Asimismo, las especificaciones del Proyecto han permitido, una vez realizados los ensayos pertinentes, el empleo de fibras sintéticas estructurales **Sika Fiber T 48** para el refuerzo del hormigón proyectado.

Además de las ya mencionadas, desde el inicio de los trabajos, Sika ha suministrado diferentes soluciones a la obra:

- **Sigunita L 22 R**
- **Sika Desencofrante**
- **Sika Waterbar O-30**
- **Sika Combiflex Adhesive**
- **Sika Combiflex Strip 1 mm.**



Fibras sintéticas estructurales Sika Fiber T 48 empleadas en la obra.

En el momento de redacción de esta referencia de obra, se están preparando las pruebas para el diseño del hormigón de revestimiento del túnel y presentando las soluciones **Sika** para la impermeabilización principal.



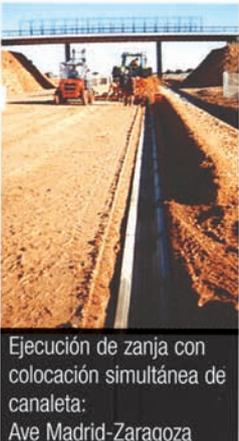
SIKA, S.A.U.
Ctra. Fuencarral, 72
28108 Alcobendas.
☎: 916 572 375 • Fax: 916 621 938
Web: www.sika.es




SOLUCIONES EFICACES A TRABAJOS ESPECIALES



Zanja con colocación simultánea de conductos eléctricos



Ejecución de zanja con colocación simultánea de canaleta:
Ave Madrid-Zaragoza

- PERFORACIÓN HORIZONTAL Y DIRIGIDA
- PERFORACIÓN EN ROCA
- ENTERRADORAS DE CABLES Y TUBERIAS
- ZANJADORAS DE SECCIÓN REDUCIDA
- HINCAS VERTICALES Y HORIZONTALES
- CHIMENEAS DE VENTILACIÓN EN ROCA
- COLOCACIÓN DE CANALETAS PREFABRICADAS



APLICACIONES ESPECIALES DE INGENIERÍA CIVIL, S.A.
PERFORACIONES ESPECIALES Y DIRIGIDAS, S.L.
C/ Merindad de Montija, 18 - Nave 9 A.
Polígono Industrial Villalonquéjar
Apartado 547. 09001 BURGOS
Tel.: 947 298 695 - Fax: 947 298 615
E-mail: comercial@aples.net

Más información en nuestra web www.aples.net



Sistema geotérmico de alta eficiencia energética en el edificio polivalente de la UAH

La Universidad de Alcalá está llevando a cabo la construcción de varios edificios en su Campus Externo, situado en el noroeste de la ciudad, junto al Hospital Universitario *Príncipe de Asturias*. De todos ellos, cabe destacar el denominado *Edificio Polivalente*, una moderna construcción diseñada por el equipo de la Oficina Técnica de la UAH, construido por la UTE Edificio Polivalente —constituida por *CYM-Yáñez*, *Ceinsa* y *Ecofluidos*—, siendo la empresa *Socoin* la Ingeniería contratada por la Propiedad para el desarrollo de la incorporación de un sistema geotérmico de muy baja entalpía para dotar de calefacción, refrigeración y A.C.S. a este nuevo y emblemático desarrollo de la UAH.

Palabras clave: BOMBA DE CALOR, COLECTOR, CONDUCTIVIDAD, EFICIENCIA ENERGÉTICA, GEOTERMIA, SIMULACIÓN, SONDA, SONDEO, TRG.

 Juan A. DE ISABEL*, Dtr. Gerente.
Carlos EGIDO*, Ing. Jefe de Proyecto.

 GEOTER - Geothermal Energy, S.L.

Para el desarrollo de este proyecto geotérmico se confió en *Geoter*, empresa pionera en España en el campo de la energía geotérmica, especializada en grandes instalaciones. De acuerdo a la norma alemana de geotermia *VDI4640*, y que *Geoter* aplica en todos sus proyectos, la realización de un **TRG** o *Test de Respuesta Geotérmica* era obligada puesto que la potencia de la instalación superaba con creces los 30 kW marcados como límite inferior para la obligatoriedad de realización de **TRG** en dicha normativa.

TRG y Simulación

Este tipo de ensayos o **TRG** permiten contrastar los parámetros teóricos del subsuelo empleados en el predimensionamiento del sistema, ya que mediante su realización se obtiene una caracterización fiel del mismo, tanto en términos litológicos como en parámetros termofísicos, pues en primer lugar se obtiene una columna litológica del sondeo y posteriormente, con la realización del propio test, se calculan la conductividad térmica efectiva y la resistencia térmica del sondeo, parámetros ambos fundamentales para el correcto diseño y dimensionamiento de la captación geotérmica final.

La ventaja que presenta un **TRG** frente al análisis de las muestras del terreno en laboratorio es, que la medición realizada a través de unas condiciones de terreno prácticamente inalterado no son comparables con todos los factores influyentes a lo largo de la longitud de la sonda geotérmica, tales como el material de relleno en la perforación, la calidad técnica de la sonda, el proceso de instalación de la misma, así como la afección relativa de los diferentes niveles freáticos. Asimismo cabe destacar que la perforación realizada para el desarrollo del **TRG** puede ser utilizada perfectamente en el futuro, como intercambiador geotérmico de la instalación.

Tanto por la singular disposición del área de captación geotérmica, dividida en dos zonas, como por la elevada potencia del proyecto, se decidió llevar a cabo dos **TRG's**, uno en cada división del área. Estos tests se efectuaron en enero de 2010 y se practicaron sobre sondeos geotérmicos de 100 m, efectuados con 152 mmØ y equipados con sonda doble U de 32 mm y características *PE 100 RC PN16 SDR 11 SKZ-TÜV* y material de relleno *ThermoCem Plus*.

Para la realización de los **TRG** se ha empleado un equipo móvil (**Fig. 1**) dotado de un programa específico de almacenamiento de datos (SPS). Las mediciones de temperaturas se realizan transcurridas como mínimo 72 horas de la inyección del material de relleno, para garantizar su fraguado y que no se produzcan interferencias térmicas, además estas mediciones se llevaron a cabo durante un tiempo de 90 h, siendo el mínimo valor de tiempo para la realización de un **TRG** de 48-50 horas, según la experiencia del doctor *B. Sanner*, experto en la materia.



[Figura 1].- Equipo de TRG en el emplazamiento de proyecto.

La caracterización e interpretación de los *Test de Respuesta Geotérmica* conlleva, como ya se ha comentado, la determinación de los siguientes parámetros:

- Conductividad efectiva local λ_{off} : 1,82 W/m·K
- Resistencia térmica local del sondeo R_b : 0,10 K/(W/m).

Una vez conocidos estos parámetros y trabajando con el cálculo de cargas proporcionado por la propiedad es posible efectuar una simulación completa del sistema geotérmico para obtener un correcto dimensionamiento y diseño de la captación geotérmica.

Esta simulación se realizó mediante el software específico para aplicaciones geotérmicas *Earth Energy Designer* en su versión v.3.15, y se llegó a la conclusión de que la captación geotérmica idónea para la instalación del edificio polivalente de la UAH era de 60 sondeos con las características constructivas expuestas en la realización del **TRG**, con los intercambiadores geotérmicos separados una distancia de 7 metros entre sí para evitar interferencia térmica entre ellos.

Captación geotérmica

La ejecución de las dos perforaciones piloto efectuadas para la realización de los correspondientes **TRG's** permitió, como se apuntó en el apartado anterior, tener un conocimiento *in situ* tanto de la litología como de la hidrogeología de la zona. Ambas perforaciones se efectuaron mediante el método de circulación directa con lodos y se obtuvo en ambos casos un perfil litológico compuesto en su práctica totalidad por arcillas con presencia de dos niveles freáticos de escasa relevancia a cotas -10 y -78 m.

Así pues se comprobó que la estrategia de perforación prevista por el equipo técnico de *Geoter* era la correcta a la luz de los materiales atravesados y se mantuvo por tanto el

método de perforación mediante circulación directa y lodos, empleando agua como fluido de perforación, para efectuar las 58 perforaciones restantes que conformaran el total de 60 sondeos geotérmicos proyectados para la captación energética del edificio polivalente de la UAH.

El equipo elegido para realizar la captación geotérmica, teniendo en cuenta las características específicas geológicas, debía ser específico para este tipo de aplicaciones, contemplando los aspectos necesarios para ser considerado un buen equipo de perforación geotérmica como por ejemplo el doble cabezal de rotación, la triple mordaza, el cabestrante con manipulador de tuberías a través de electroimán y la inclusión de prevenir para evacuación controlada de detritus (**Fig. 2**).

En el proceso de perforación se empleó agua como único fluido de perforación, evitando así el empleo de aditivos y polímeros en el lodo de perforación. Además el detritus procedente de las operaciones de perforación se condujo vía prevenir hacia contenedores estancos ubicados en obra, para su posterior gestión por medio de un gestor autorizado.

Tal y como se ha expuesto, cada intercambiador de calor se construyó con sondas geotérmicas de tipo doble U de características *PE100RC 32x3,0 mm SDR 11 PN 16 HR3.26 TÜV* y con material de relleno específico para aplicaciones geotérmicas *ThermoCem Plus* que garantiza una conductividad mínima de 2 W/m·K así como un relleno perfecto e impermeable de la totalidad del sondeo.



■ [Figura 2].- Equipo de perforación en la captación geotérmica.

Para la introducción de las sondas geotérmicas (junto con el tubo de inyección de suspensión térmica) se empleó un carrusel metálico diseñado a tal efecto que se sustenta del mástil del equipo de perforación, mientras que para el procesado del material de relleno y su posterior inyección en el sondeo se emplea una mezcladora de cemento de tipo continuo coloidal. Es preciso apuntar que el relleno del espacio anular entre sondeo y sondas geotérmicas se realizó a través del denominado tubo de inyección y por rebose, es decir, desde el fondo del sondeo hasta la superficie, con el fin de evitar oquedades y dar una total homogeneidad al intercambiador de calor vertical.

Una vez ejecutadas las perforaciones es preciso llevar a cabo el conexionado horizontal de las sondas geotérmicas hasta los elementos colectores de la instalación. Los elementos empleados en el presente proyecto son arquetas distribuidoras para 15 circuitos, de modo que se emplean un total de 4 elementos colectores para el total de la captación. Estos elementos van equipados con caudalímetros y válvulas de corte para cada circuito individual y se ubican de modo que sean registrables para cualquier necesidad de acceso futura.

En las tareas de conexionado horizontal primeramente se realizó un zanqueo de aproximadamente 1,2 metros de profundidad, en el que, tendidos sobre una cama de arena se disponen las tuberías de conexión horizontal, de calidades *PE100 40x3,9mm PN16 SDR11 HR3.26 TÜV* que recogen las salidas del sondeo geotérmico y conducen los circuitos hidráulicos hasta el elemento colector.

Estas tuberías de conexión de 40 mm recogen los circuitos de impulsión y retorno presentes en cada intercambiador de calor geotérmico mediante uniones en forma de Y de dimensiones 32-32-40 mm, de modo que por cada sondeo que inicialmente presentaba dos idas y dos retornos, en el circuito horizontal queda reducido a una ida y un retorno. Las tareas de unión de las sondas geotérmicas con el racor de conexión y a su vez con la tubería horizontal se efectuaron mediante labores de termosoldadura.

Una vez se han recogido todos los circuitos geotérmicos en los colectores (**Fig. 3**)



■ [Fig. 3].- Colector y conexión horizontal en el proyecto del Edificio Polivalente de la UAH.

se tiene un circuito de impulsión y otro de retorno por cada elemento distribuidor, que a su vez se unirán para entrar en la sala técnica y alimentar a las bombas de calor geotérmicas.

Una vez realizadas las uniones y la totalidad de conexiones en horizontal se procedió al relleno y de las zanjas con arena de río, previa señalización mediante cinta de color verde de la instalación geotérmica. Esta es una medida de seguridad empleada por Geoter para la señalización de instalaciones geotérmicas que faciliten su localización en cualquier necesidad futura que pueda presentarse.

Es importante apuntar que el fluido calportador que circula por el interior de las sondas es una mezcla de agua con glicol al 25%, suficiente para garantizar la correcta circulación del fluido por el circuito geotérmico. Además, una vez finalizada esta instalación se procedió a realizar las pertinentes pruebas de presión y estanqueidad tal y como recoge la ya citada normativa alemana de geotermia.

En el plano temporal es preciso recalcar que las labores de perforación y construcción de intercambiadores de calor verticales, esto es, introducción de sondas y relleno con material específico de perforación, junto con las pertinentes pruebas de presión y estanqueidad marcadas por la *VDI 4640* abarcaron desde el 24 de mayo al 18 de agosto de 2010, lo cual implica un alto grado de productividad. Las labores de conexión de la segunda zona de perforación se alargaron hasta el día 1 de septiembre de 2010, ya que las relativas a los primeros 30 sondeos se realizaron en paralelo con los trabajos de perforación en este segundo área de captación.

Sala Técnica-bombas de calor geotérmicas

Una vez han quedado explicadas las labores realizadas en los campos de captación geotérmicos es preciso entrar a describir los aspectos del proyecto relativos a la sala técnica y en especial a los equipos de generación térmica, es decir, las bombas de calor geotérmicas.

Para satisfacer las necesidades térmicas del edificio polivalente de la UAH era preciso realizar un estudio de cargas detallado, el cual fue facilitado por la oficina técnica de la UAH y Socoin y que sirvió para la simulación del proyecto geotérmico global, trabajo realizado por el equipo técnico de Geoter basándose en el software EED v.3.15.

En la instalación objeto del presente artículo se dispuso un sistema formado por dos bombas de calor distintas, en concreto se trata de una unidad geotérmica *Geozent profi* del fabricante alemán *Zent-Frenger* y de una bomba de calor geotérmica de *Clivet*, de potencias respectivas 265 y 147 kW, ambas con unos valores de rendimiento estacional superiores a 4.

El equipo *Geozent profi* es una unidad geotérmica que incluye en su interior tres compresores de tipo *Scroll* y todos los accesorios para la gestión del total de la instalación, incluyendo el gobierno de la bomba *Clivet*, que funcionará únicamente en determinados momentos de alta demanda energética como apoyo a la unidad *Geozent profi*, que va a satisfacer de manera constante la base energética del proyecto.



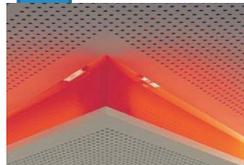
[Figura 4].- Unidad central de energía geotérmica *Geozent profi* instalada en el edificio polivalente de la UAH.

Es importante destacar la presencia en la sala técnica de dos depósitos de inercia con una capacidad de 2000 litros por unidad. Uno de los depósitos ha sido concebido para trabajar en modo calefacción mientras que el otro ha sido diseñado para trabajar con el sistema funcionando en modo refrigeración.. Asimismo se han dispuesto un tercer depósito de inercia de 800 litros cuyo objetivo es trabajar en el circuito de agua caliente sanitaria (A.C.S.). Adicionalmente se han proyectado y dispuesto vasos de expansión de 600, 140 y 25 litros que redundan en un funcionamiento más eficiente del global de la instalación geotérmica

Por último cabe apuntar la presencia de un moderno sistema de control y monitorización de la instalación que permitirá conocer fehacientemente los parámetros de funcionamiento más relevantes de la instalación geotérmica, dando un además carácter demostrativo a un proyecto de alta eficiencia energética basado en un recurso energético de tipo renovable como es el llevado a cabo por Geoter en este edificio polivalente de la UAH.



GEOTER - Geothermal Energy, S.L.
P.Empr. Norte Real
Ávda. Puente Cultural, 8 - Bo. B
28702 S. S. de los Reyes (Madrid)
☎: 912 686 626
E-mail: geoter@geoter.es
Web: www.geoter.es



INGENIERÍA GEOTÉRMICA

PROYECTO, DISEÑO Y SIMULACIÓN

DIRECCIÓN FACULTATIVA

PROYECTOS LLAVE EN MANO

PERFORACIÓN ESPECÍFICA DE GEOTERMIA

CIMENTACIONES TERMOACTIVAS

RELLENO DE ALTA CONDUCTIVIDAD

TRG: TEST DE RESPUESTA GEOTÉRMICA

AUDITORÍAS ENERGÉTICAS

EFICIENCIA

SOSTENIBILIDAD

OPTIMIZACIÓN

GEO THERMAL ENERGY S.L.

Parque Empresarial Norte Real-Av. Puente Cultural 8-B

28702 San Sebastián de los Reyes (Madrid)

Tel.: +34 912686626 email: info@geoter.es

www.geoter.es

Proyecto de Eneres para un teatro. La perforación de los sondeos ha sido ejecutada por Tepuy Ingeniería

Utilización del recurso geotérmico para la climatización mediante losas termoactivas y el pretratamiento del aire de renovación

La utilización de cualquier fuente de energía, renovable o no, para cubrir las demandas de climatización de los edificios debiera abordarse, en todo caso, reduciendo al mínimo estas necesidades mediante los recursos pasivos y de entorno que podamos aplicar, y sólo entonces, usando la fuente energética de mejor rendimiento. En el caso de utilización de energía geotérmica, esta premisa es mucho más relevante por establecer una transferencia entre sistemas en equilibrio, el edificio y el terreno. El uso de elementos que permiten esta transferencia de manera armónica a través de su masa e inercia (estructuras y suelo), optimizan el rendimiento energético. La combinación de sistemas de intercambio energético tierra-agua y tierra-aire consigue cubrir las demandas energéticas para la climatización de un edificio, con un mínimo consumo.

Cuando se plantea el proyecto de un sistema eficiente para la climatización de nuestros edificios se debería haber cuestionado previamente si el edificio en el que se va a intervenir reúne las mejores condiciones de orientación, tratamiento de la envolvente y relación con el entorno que hagan del mismo un elemento poco consumidor de energía. Esta premisa que, desgraciadamente, no se cuestiona con mucha frecuencia, va a permitir un dimensionamiento de nuestras instalaciones muy ajustado, sin necesidad de factores de corrección de seguridad ni sobredimensionados.

En este ámbito de actuación y bajo estos parámetros, la utilización de la energía geotérmica para climatización es un recurso muy adecuado para resolver las demandas de nuestros edificios con costes ajustados y ahorros energéticos considerables en comparación con otro tipo de energías.

Geotermia en climatización, aire primario y sistemas inerciales

El uso de la *geotermia* en climatización se resume en el principio del intercambio de temperatura, cesión o absorción de calor entre el terreno y el edificio y puede producirse en dos ámbitos diferentes: el atemperamiento del aire primario de renovación y el calentamiento o enfriamiento de un fluido caloportador en el circuito secundario de producción de calor o frío del edificio.

- En el primer caso, el aire que introducen las UTA'S en el edificio no será incorporado a las climatizadoras directamente a la temperatura ambiente, sino pretratado en un intercambiador geotérmico tierra aire (Fig 1).

Palabras clave: ESTRUCTURAS TERMOACTIVAS, INTERCAMBIADORES GEOTÉRMICOS TIERRA-AGUA, INTERCAMBIADORES GEOTÉRMICOS TIERRA-AIRE, SONDEOS GEOTÉRMICOS, SISTEMAS INERCIALES.



José FERNÁNDEZ ALVAREZ, ICGyP.
Dtr. General de **ENERES Sistemas Energéticos Sostenibles, S.A.**

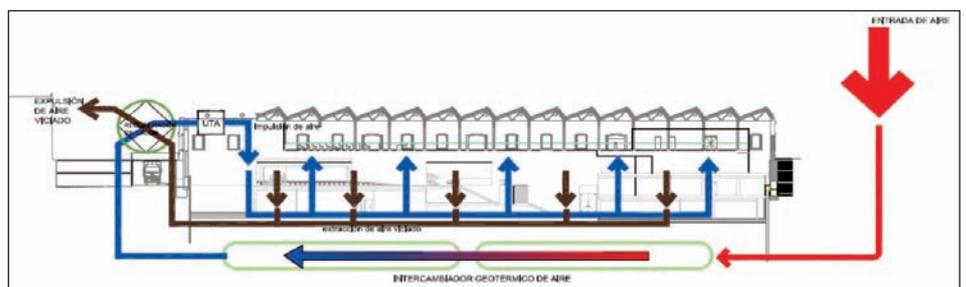
L. Raúl CASTAÑEDA VALERO, Ing. Civil UCM.
Dtr. Técnico **TEPUY INGENIERÍA, S.A.**

Este volumen de aire de renovación se introducirá desde el exterior a una red de conductos enterrados que, por el contacto con el terreno circundante captarán o cederán calor de este aire al

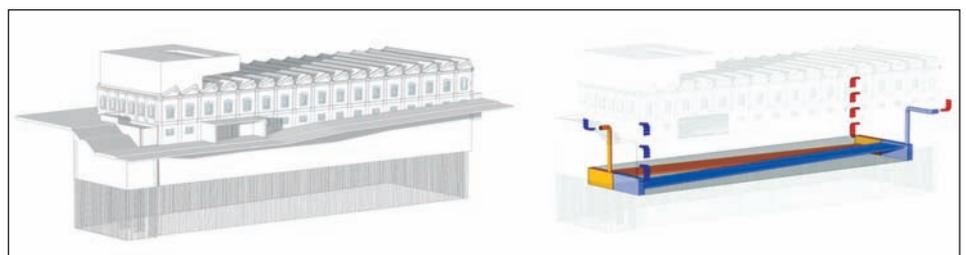
mismo antes de introducirse en la climatizadora y distribuirse en el interior del edificio (Fig 2).

Por este mecanismo de transferencia de energía entre el caudal de aire y el terreno, el rango de temperaturas del aire en la compuerta de admisión de la UTA será mucho más cercano a las temperaturas de impulsión en el interior del edificio con el consiguiente ahorro de energía para conseguir el salto térmico necesario a la temperatura de confort.

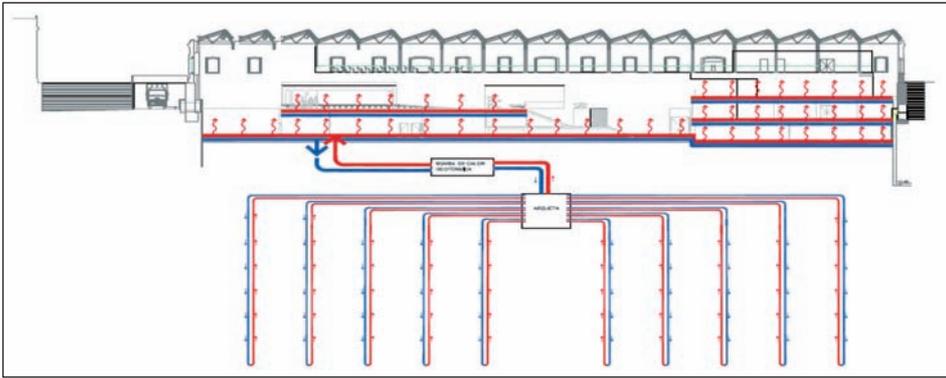
- El segundo dispositivo que se contempla es la utilización de una bomba de calor geotérmica como recurso para el calentamiento o enfriamiento de un sistema inercial incorporado a la estructura del edificio (Fig 3).



[Figura 1].- Esquema de funcionamiento del sistema de renovación de aire con pretratamiento geotérmico y recuperación de energía.



[Fig. 2].- Esquema de la red de intercambiadores geotérmicos tierra aire situados bajo el edificio.



ración del edificio a través del sistema inercial de lasas termoactivas.

En este punto se estará condicionado por la geometría que se dispone y que, en base a las simulaciones previas habrá determinado la separación y longitud de los intercambiadores. Estos estudios definirán la técnica más adecuada de perforación según el tipo de terreno.

En la mayoría de los casos será necesaria la utilización de lodos aditivados con polímeros para la estabilización de la perforación previa a la introducción de la sonda geotérmica. La formulación de estos lodos, su recirculación adecuada sin contaminar puede ser en muchos casos y desde nuestra experiencia, un factor clave en los rendimientos y profundidades alcanzadas en la perforación.

El relleno de la perforación una vez introducido el tubo con morteros termoconductores debe realizarse mediante tubería adicional que vaya rellenando desde el fondo de la perforación hasta la superficie para que no se produzcan obturaciones intermedias.

En la obra, situada en Madrid, y en un edificio protegido, el contratista principal es la empresa *Fernández Molina Obras y Servicios S.A.* con una prolongada experiencia en obras de rehabilitación integral, y el proyecto y obra de las instalaciones geotérmicas y termoactivas ha sido realizado por *Eneres Sistemas Energéticos Sostenibles S.L.* experta en rehabilitación para la eficiencia energética.

[Figura 3] .- Esquema de funcionamiento del sistema de climatización con intercambio geotérmico en el circuito primario, bomba de calor geotérmica y lasas termoactivas como sistema inercial de climatización.

La instalación constará de dos partes diferenciadas:

a) *Circuito primario* con una red de intercambiadores verticales perforados en el terreno, de profundidades que varían entre los 100 y los 200 m y unas sondas introducidas en estas perforaciones por las que circula un fluido, generalmente agua glicolada, en circuito cerrado y que permiten, por intercambio de temperaturas entre fluido y terreno, ser el elemento contra el que condense la bomba de calor geotérmica.

El rango de temperaturas de este fluido que capta o cede calor del terreno dependiendo del ciclo de la bomba (invierno-verano), es lo suficientemente estrecho para permitir que el salto térmico que debe proporcionar la bomba de calor geotérmica sea pequeño, con lo que el consumo energético sea muy ajustado y los COP s de las bombas muy altos.

b) *Circuito secundario*, formado por una red de tuberías en contacto con la masa estructural del edificio que la convierte en un elemento inercial capaz de ceder o absorber calor del edificio. Por este circuito hidráulico incorporado a la estructura, circulará un fluido caloportador cuya temperatura regulará la bomba de calor geotérmica.

Las temperaturas de servicio de esta red son, en cualquier caso, moderadas y mucho menos extremas que las necesarias para otros sistemas de climatización como radiadores o termoventiladores. El motivo de estas diferencias se deben a que, con el sistema planteado,

el elemento de climatización es la propia estructura con una masa muy importante y mucha inercia, siendo el aire, con muy poca masa e inercia, el que se calienta o enfría en los otros sistemas (*Fig 4*).

Procesos constructivos y puesta en obra

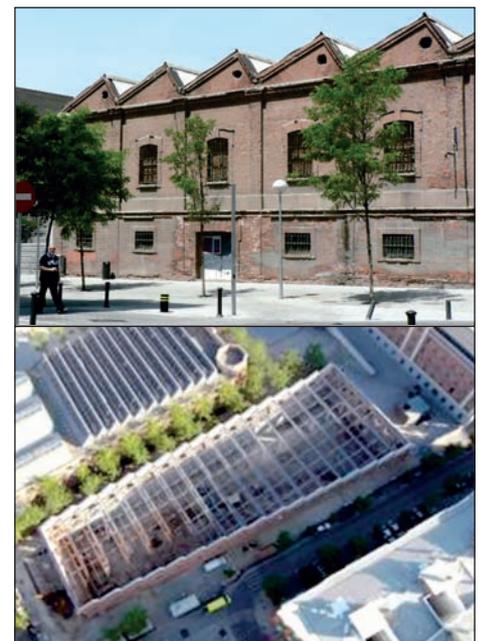
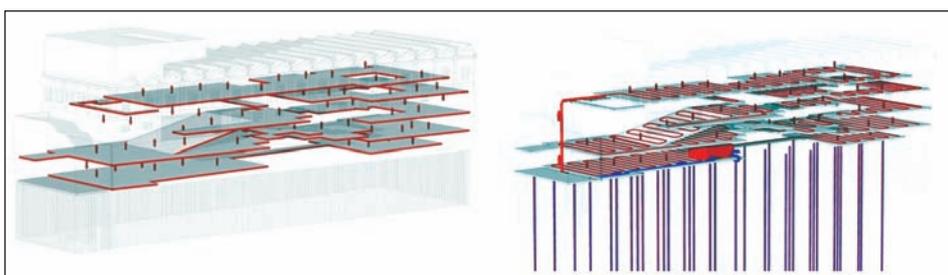
El sistema de intercambio geotérmico planteado, que combina dos dispositivos en el mismo entorno constructivo, debe contemplar un análisis muy detallado de las posibles interferencias entre los sistemas descritos, tanto a nivel constructivo como de interacción térmica. La coordinación de los trabajos de puesta en obra es esencial para el buen funcionamiento y ejecución del proyecto definido.

Cuando el espacio del que se dispone para la ubicación de nuestros intercambiadores obliga a la superposición en planta de los dos sistemas, la secuencia de ejecución comenzará con la perforación de las sondas verticales geotérmicas, continuará con la construcción del intercambiador tierra aire enterrado y finalizará ejecutando, sobre el relleno aislado, la red horizontal que conecte los intercambiadores verticales hasta el cuarto de bombas.

A Distinguir las dos fases en que se ejecutará la puesta en obra:

- **Construcción del intercambiador agua-tierra.**

Se trata de la red de intercambiadores verticales conectados con la bomba de calor geotérmica, que se aplicará a la calefacción y refrige-



La obra de construcción del nuevo teatro supone la rehabilitación integral de un antiguo cuartel, protegido, en un entorno urbano. La aplicación de intercambiadores geotérmicos para la climatización eficiente del edificio supone un aporte calidad ambiental y un ahorro energético muy importantes en un proceso de rehabilitación.

[Figura 4].- Esquemas de la red de intercambiadores geotérmicos tierra agua y forjados y lasas termoactivas.

La obra, además de las dificultades propias del terreno a perforar, cuenta con condicionantes de acceso y geometría que determinan las dimensiones de los equipos y el procedimiento de ejecución que por su interés detallamos a continuación.

Ejecución de los sondeos geotérmicos

La empresa *Tepuy Ingeniería S.A.U.*, cuya principal actividad se centra en el campo de las cimentaciones especiales, cimentaciones termoactivas e intercambiadores geotérmicos, ha sido la encargada de realizar la perforación y la instalación de las sondas de los intercambiadores geotérmicos tierra-agua.

Para los trabajos de perforación, *Tepuy Ingeniería S.A.U.* adquirió de *Mecanización y Minería, S.A.* (distribuidor oficial en nuestro país de *Casagrande/Hütte*), un equipo específico de perforación geotérmica, como es el **Hütte HBR 205GT**, equipado con un sistema de doble cabezal de perforación, que permite la instalación de sondas geotérmicas con la confianza de alcanzar las profundidades solicitadas entubando la perforación cuando es necesario.

Así mismo, en las inmediaciones de la perforadora se ha instalado un contenedor desde el cual se bombea agua en el sondeo a través del varillaje hasta el útil de perforación, refrigerando



■ **Equipo de perforación de sondas geotérmicas y balsas de decantación de lodos.**

la herramienta de corte y sirviendo como vehículo de transporte para la extracción del detritus generado durante la perforación. Una vez completado el circuito, se decanta el detritus en tanques previstos para este fin, permitiendo la reutilización de casi un 95% del agua.

Las especificaciones del proyecto exigen instalar sondas dobles de 40 mm Ø.

El circuito de captación geotérmica está formado por 35 sondas verticales de 157 metros de profundidad, con el método de circuito cerrado. El método y técnica de perforación empleado es por rotación con circulación directa y revestimiento para terrenos inestables, cuyas paredes se derrumben con facilidad.

Los principales condicionantes relativos a la composición y estructura del terreno, para la ejecución de las perforaciones, fueron los siguientes:

- Nivel freático a cota -1
- De 0 a 90 metros: Arcillas arenosas con intercalaciones de yesos.
- De 90 a 120 metros: Arcillas limosas muy blandas que se colapsan con facilidad.
- De 120 a 157 m: roca dura de yesos.

Se han realizado perforaciones con revestimiento en Ø152 mm y corona de perforación de Ø160 mm hasta los primeros 120 metros de profundidad. El varillaje interior utilizado ha sido de Ø88,9 mm con trialetas Ø127 mm para ma-

Equipo perforador Hütte HBR 205GT

La **Hütte HBR 205 GT** es una máquina autopropulsada totalmente hidráulica montada sobre orugas. Es conforme a la normativa CE y equipa un motor Diesel de última generación con una potencia de 147 kW (197 hp) a 2300 rpm. Como características principales del equipo cabe destacar: el sistema de triple mordaza, 20 t de fuerza de extracción directamente desde el reductor de avance, estante portatubos, doble cabezal de rotación con desplazamiento lateral y sistema magnético para manipulación de la sarta de perforación.

Específicamente diseñada para aplicaciones en *Geotermia*, también se puede utilizar para perforación de recubrimientos, perforación con martillo en fondo, con hélice, perforación para inyección, perforación para exploración, perforación de pozos de agua, o micropilotaje

La unidad está provista de un sistema hidráulico *Load Sensing*. Las bombas de caudal variable están pilotadas y permiten un ajuste del caudal de aceite dependiendo de los requerimientos de la función de perforación.

Todos los movimientos de la perforadora son accionados por un control suave. Una temperatura óptima de trabajo es garantizada y regulada por un termostato que asegura el funcionamiento.

La máquina base cuenta con: 4 estabilizadores hidráulicos integrados en la anchura del carraje; capotaje insonorizado y de fácil acceso

para labores de mantenimiento; y cinemática con dos cilindros en la parte delantera para elevación y descenso del mástil. Inclinación frontal máxima 5°.

El tren de orugas montado en el chasis base con teja metálica de 500 mm de anchura; ancho entre orugas, 2.500 mm; longitud total, 3.060 mm; altura sobre el suelo, 430 mm; velocidad de desplazamiento, 1,81 km/h. Equipa control remoto vía radio, para toda la cinemática, ajustes y funciones de perforación: rotación, avance, mordazas, apertura, cinemática, estante de tuberías, y bomba de agua.



El mástil de perforación **Hütte DM300** con cilindro de avance, y una longitud total de 8,36 m. La longitud de avance con doble cabeza, es de 6,70 m. Fuerza de avance, 100 kN (10 t); fuerza de retracción 200 kN (20 t); velocidad de avance máx., 50 m/min; y radio de avance rápido, 12 m/min.

Cuenta con guías de deslizamiento con bajo mantenimiento, con soporte de cadena central para las cabezas de rotación tipo **HG24/HG12** con movimiento lateral hacia la izquierda; incluyendo cilindro de desplazamiento de 400 mm de carrera **HG24** hacia **HG12**; cinemática con dispositivo para doble cabeza tipo **Hütte HG24/HG12**

Sistema de doble mordaza **Hütte CB 2-1**, con portainsertos e insertos autocentrables, y apertura de 68 a 254 mmØ, montado en consola. Mordaza de cierre adicional **C 2-1**, que incluye un juego de insertos. Cabrestante de servicio **A2**, con 30 m de longitud de cable, y fuerza de tiro, de 20 kN. Soporte poleas, con brazo extensible 1000 mm y giro 40° en la dirección de desplazamiento, incluyendo guía del cable.

Estante para tubería (**rack**). Situado en la dirección de desplazamiento a la derecha con cilindro de inclinación y capacidad: 27 x Ø152,4 mm, + 27 x Ø 88,9 mm; y sistema de manipulación de tubería magnético y control remoto.



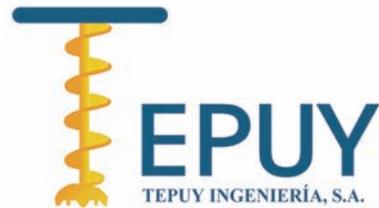
Mecanización y Minería, S.A.

www.mymineria.com



CIMENTACIONES ESPECIALES

Pilotes
Micropilotes
Anclajes
Geotermia
Inyecciones armadas
Recalces



TEPUY INGENIERÍA, S.A.

C/ Pedro Villar, 17, B.º C. 28020 Madrid
Teléfono: 91 570 75 48 - Fax: 91 570 52 65
E-mail: tepuy@tepuy.es
www.tepuy.es



con dispositivos de evacuación del posible agua de condensación.

Con posterioridad al tendido de tubería, se rellenará el espacio entre tubos con una potencia mínima de 1,00 m sobre la generatriz superior para que el intercambio entre aire y terreno se produzca correctamente.

Finalizado el relleno, la superficie del terreno debe aislarse para impedir transferencias de energía con la red horizontal de tubos que unirán las sondas verticales con el recinto donde se alojen las bombas de calor geotérmicas.

Balance energético

La aplicación de criterios y medidas eficientes para la reducción de la demanda energética y su cobertura con los recursos más adecuados, requiere un estudio pormenorizado en cada caso concreto en los que se valoren aspectos que optimicen su viabilidad y rentabilidad técnico-económica.

Establecer la línea base sobre la que medir el ahorro de consumo o reducción de emisiones a la atmósfera requiere el establecimiento de criterios objetivos que deben regularse por organismos técnicos independientes, que permitan evaluar adecuadamente los resultados de nuestra acción.

En cualquier caso y, como se refleja en las **Tablas I y II**, para que sirva como ejemplo, los resultados de implementar las estrategias descritas anteriormente, redundara en un ahorro muy considerable de los consumos de energía en calefacción y refrigeración.

Introducción de la sonda doble de intercambio geotérmico, pruebas de estanqueidad e inyección de la perforación.

teriales blandos y medios. Además se ha optado por usar roscas de tipo cilíndrico en el varillaje interno y extremos reforzados con sobre diámetro en la zona de las rosca. El uso de rosca cilíndrica en lugar de la cónica *API 2 3/8"* regular o *API 2 3/8" IF* proporciona un mayor diámetro de paso para el fluido de perforación minimizando las pérdidas de carga en la sarta.

- Desde el metro 120 hasta el 157, se ha perforado sin revestimiento en $\varnothing 127$ mm con trialetas para materiales muy duros.
- Una vez realizada la perforación, se procedió a introducir la sonda presurizada y la realización del primer test de estanqueidad para comprobar la integridad de la misma. Cada test, tiene una duración aproximada de 30 – 45 min.
- Superado con éxito el test de estanqueidad, se inyecta la sonda, teniendo en cuenta que el nivel freático se encuentra a cota -1 m.

Construcción del intercambiador aire-tierra

Se trata del sistema de intercambio geotérmico para el precalentamiento del aire de renovación aportado al edificio.

Una vez ejecutada la red de intercambiadores verticales se procederá a la excavación en vaciado del terreno donde se va a situar la red de colectores enterrados por los que circulará el aire de renovación.

Es necesaria la correcta señalización de las perforaciones ejecutadas previamente para prevenir roturas de las sondas durante este proceso. Así mismo será necesario aislar el tramo en contacto con el volumen de relleno posterior para no desvirtuar la temperatura del terreno en ese tramo por la circulación del fluido caloportador.

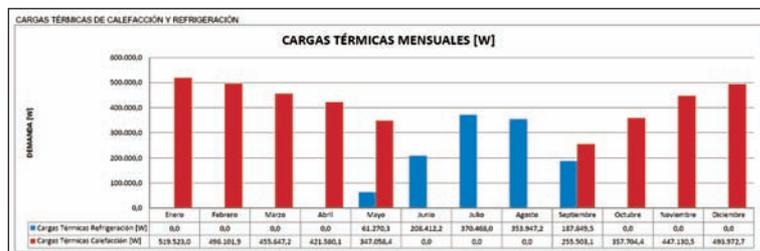
Todos los colectores de aire deben tener una pendiente adecuada para la evacuación de posibles condensaciones y su conexión con el colector general de admisión o impulsión debe ejecutarse de manera estanca.

El diseño de este colector dentro del edificio deberá proyectarse considerando las cargas transferidas por las cimentaciones del mismo.

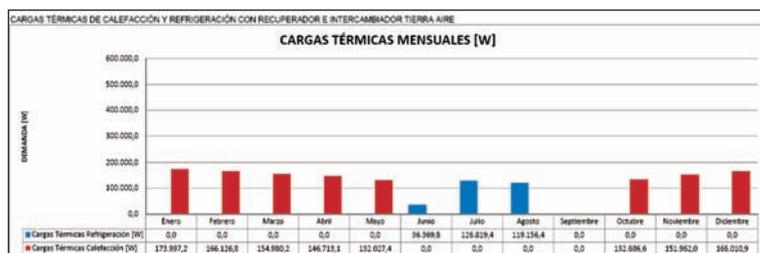
En su construcción deben cuidarse especialmente el tratamiento de las superficies en contacto con el aire que transferimos al edificio una vez pretratado. Además debe contar



Proceso de ejecución de intercambiadores aire-tierra con los intercambiadores verticales tierra-agua ejecutados.



[TABLA I].- Potencia en calefacción y refrigeración en un período anual.



[TABLA II].- Demanda de potencia a cubrir con la bomba de calor geotérmica una vez incorporados el pretratamiento del aire y el recuperador de calor.

HBR 205 GT

HÜTTE

BOHRTECHNIK



GEOTERMIA

La Hütte HBR 205 GT es una máquina autopropulsada totalmente hidráulica montada sobre orugas, conforme a la normativa CE y equipada con motor diesel de última generación.

Las bombas de caudal variable están pilotadas, y permiten el ajuste del caudal de aceite dependiendo de los requerimientos de la función de perforación.

Todos los movimientos principales de la perforadora son accionados por radiomando.

Triple mordaza.

Fuerza extracción 20 t.

Estantería portatubos.

Doble cabeza de rotación con desplazamiento lateral.

Soporte poleas giratorio.

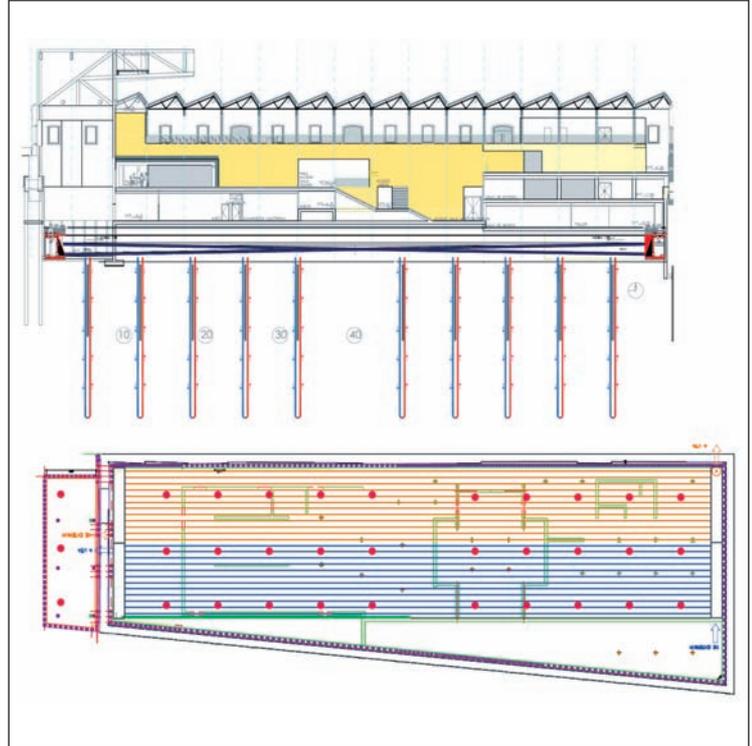


MECANIZACIÓN Y MINERÍA, S. A.

Calle Pelaya, 33. 28110 Algete. Madrid. Teléfono: +34 91 629 36 80. Fax: +34 91 628 04 57
consultas@mymineria.com • www.mymineria.com • www.mymsa.eu



Vista general del edificio en fase de rehabilitación y construcción de los intercambiadores geotérmicos.



[Figura 5].- Sección y planta del edificio con los intercambiadores aire-tierra y aire-agua.

Teatro infantil y Centro cultural en Madrid

Corresponde este caso a una intervención en rehabilitación promovida por el Ayuntamiento de Madrid para la recuperación de unos antiguos cuarteles en el complejo de Daoiz y Velarde.

La obra recupera una antigua nave que servía de almacenamiento de piezas de artillería, para el uso de teatro infantil y locales destinados a actividades culturales.

La actuación contempla la construcción de una pantalla perimetral de pilotes que permite un vaciado de la cota actual a la -8,80. En la totalidad de la planta, se han distribuido una red de 33 perforaciones para intercambiadores verticales geotérmicos con una profundidad de 157 m que alimentan un grupo de bombas geotérmicas con una potencia instalada en calefacción de 174 kW y 127 kW en refrigeración.

El sistema de climatización del complejo se ha completado con una superficie de losas de hormigón termoactivadas de 7.200 m².

La ejecución de las perforaciones se realizó con el revestimiento total de la longitud perforada debido a la naturaleza del terreno. La sonda utilizada ha sido doble U PE-100 Ø 32 y contrapeso en punta. Finalmente, para el material de transferencia del relleno de la perforación, se utilizó cemento-bentonita con un $\lambda = 1,7$.

La instalación de intercambio tierra aire, construida a continuación de la red de intercambio vertical, está constituida por dos in-

tercambiadores que alimentan a dos climatizadoras situadas en los dos extremos del edificio.

Las características de los dos sistemas son idénticas, correspondiendo cada uno a una red de tubería de PVC, sistema AKWADUT de Rehau de diámetro 315 mm, formada por 12 tubos de 80 m de longitud, enterrados a una profundidad mínima de 1,00 bajo la losa de cimentación del edificio. La red de tubería está conectada a una galería construida de hormigón gunitado que en el extremo de admisión tiene unas dimensiones de 16 (l) x 1,80 (a) x 1,5 (h) m, y en el de impulsión 19 (l) x 1,80 (a) x 2,7 (h) m.

Esta galería está diseñada para ubicarse bajo la losa de cimentación del edificio y provista de un sistema de bombas de achique para evacuación de aguas de condensación o procedentes de filtración.

El volumen de aire total pretratado en esta red de intercambiadores es de 40.000 m³/h, que convierten a esta instalación en la mayor construida en Europa hasta la fecha.

Intercambiador aire-tierra:

- Dos sistemas simétricos superpuestos.
- 1.920 ml de conducto de 315mm PVC, Akwadut Termo de Rehau.
- Profundidad 1 - 2 m bajo losa cimentación (espesor losa 80 cm).
- Galerías de admisión 2 galerías de 16m x 1,80m x 1,50 m.
- Galerías de impulsión 2 galerías de 19m x 1,80m x 2,70 m.

- Volumen de aire pretratado 24.000.- m³/h.

Intercambiador agua-tierra:

- 33 intercambiadores verticales de 160 m de profundidad.
- Sonda en doble "U", diámetro 32 mm.
- Potencia instalada:
174 kW calefacción.
127 kW refrigeración.



ENERES Sistemas Energéticos Sostenibles

Apolonio Morales, 29 •

28036 Madrid

☎: 917 589 720

E-m: eneres@eneres.es

Web: www.eneres.es

TEPUY Ungería, S.A

Pedro Villar, 17 • 28020 Madrid

☎: 915 707 848 • Fax: 915 705 265

E-m: tepuy@tepuy.es

Web: www.tepuy.es

MECANIZACIÓN Y MINERÍA, S.A

Pelaya, 33 • P.I. Río Janeiro

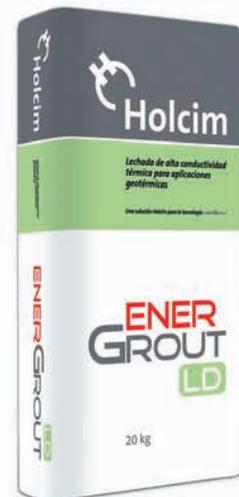
28110 Algete (Madrid)

☎: 916 293 680 • Fax: 916 280 457

E-m: consultas@mymineria.com

Web: www.mymineria.com

ENERGROUT



PRODUCTOS DE ALTA CONDUCTIVIDAD PARA APLICACIONES GEOTÉRMICAS



Fabricado por

Dotación geotérmica en edificios en rehabilitación

Integración de sistemas de intercambio geotérmico en la estructura de los aparcamientos subterráneos

Integral Park Systems, IPS, es la empresa que ha desarrollado en España todo el campo técnico, jurídico y comercial que le ha permitido implantar en nuestro país decenas de instalaciones de aparcamiento mecánico y más de un millar de plazas de aparcamiento en procesos de rehabilitación de edificios. Durante los últimos diez años IPS ha desarrollado una línea de investigación sobre la captación pasiva de energía a través las estructuras y de los volúmenes de aire de sus instalaciones de aparcamiento, y la aplicación de su potencial de aprovechamiento térmico en la climatización de los edificios. La construcción de aparcamientos mecánicos en el contexto de obras de rehabilitación se realiza en un 95% de los casos bajo los edificios y constituye en sí misma un reto constructivo al que se puede incorporar sin mayor dificultad la integración de sistemas termoactivos de captación geotérmica. *Climapark* es una solución integrada de aparcamiento mecánico con estructura termoactiva para la captación geotérmica que *IPS* está ya implantando en varias obras en el centro de Madrid. En este artículo se presentan dos de estos casos en los que esta tecnología se encuadra en procesos de rehabilitación con un alto nivel de eficiencia energética; el primero en la rehabilitación de un edificio de oficinas y el segundo en la rehabilitación integral de un palacete protegido; en ambos se integra la captación geotérmica con un sistema inercial de climatización, mediante estructuras termoactivas.

La utilización de la geotermia como fuente renovable de energía tiene enormes ventajas y un interés especial en los casos consolidados y en los procesos de rehabilitación porque no está condicionada por la orientación, la geometría, la afección por sombras, o la protección patrimonial de los edificios; y el óptimo rendimiento de la captación no depende de factores externos sino de un correcto diseño, cálculo y dimensionado del intercambiador. La implantación de sistemas de climatización con bomba de calor geotérmica es especialmente compacta y fácil de ubicar dentro de los edificios, y los sistemas termoactivos para climatización con fuente geotérmica se pueden integrar con enorme limpieza en los elementos constructivos y estructurales de los edificios rehabilitados, optimizando su rendimiento.

Aplicación de sistemas integrados de captación geotérmica y estructuras de aparcamiento

La implantación de sistemas de captación y aprovechamiento de energías renovables en la edificación es especialmente compleja en el área de la rehabilitación. Las actuaciones sobre el parque ya edificado se caracterizan por su complejidad constructiva y por las penalizaciones que en el rendimiento de los sistemas de captación supone la obligación de adaptarse a la geometría, la orientación y las características constructivas y arquitectónicas de los edificios ya existentes. Si este es un aspecto aún no resuelto en el área de la microgeneración eólica

Palabras clave: APARCAMIENTO, GEOTERMIA, REHABILITACIÓN, ROBOTIZADO, SOSTENIBILIDAD, TERMOACTIVA.

 **Luis DE PEREDA FERNÁNDEZ***, Arquitecto.
(*) Dtor. de Proyectos de **INTEGRAL PARK SYSTEMS (IPS)**.

urbana y sólo medianamente resuelto en la captación solar, cuando hablamos de captación geotérmica se evidencia el limitadísimo número de actuaciones que se realizan en procesos de rehabilitación de edificios urbanos, en los tejidos densos y consolidados de nuestras ciudades. Las razones, en este caso, tienen mucho que ver con las dificultades físicas de la ejecución de los sistemas de intercambiadores que se derivan de la escasez de espacio y la dificultad extrema en la introducción de la maquinaria y equipos auxiliares para la perforación.

Sin embargo, la utilización de la geotermia como fuente renovable de energía tiene enormes ventajas y un interés especial en los casos consolidados y en los procesos de rehabilitación. Varias son las razones de este interés:

- 1.-La captación geotérmica no está condicionada por la orientación que ya tienen los edificios, por su geometría o espacio disponible, por la afección por sombras de edificios colindantes, o la protección patrimonial.
- 2.-El óptimo rendimiento de la captación no depende de factores externos, sino de un

correcto diseño, cálculo y dimensionado del intercambiador, de la calidad de la instalación y de su adecuada gestión y mantenimiento.

- 3.-La implantación de sistemas de climatización con bomba de calor geotérmica es especialmente compacta y fácil de resolver dentro de los espacios existentes en los edificios; es más, muchas veces supone una reducción y simplificación de los espacios destinados a instalaciones.
- 4.-Derivados de la captación geotérmica, los sistemas inerciales y radiantes para climatización con fuente geotérmica se pueden integrar con enorme limpieza en los elementos constructivos y estructurales de los edificios rehabilitados, eliminando una buena parte de los componentes y equipos de los sistemas convencionales y elevando significativamente los parámetros que contribuyen al confort ambiental.
- 5.-El campo de actuación donde hay mayor potencial de ahorro energético y reducción de emisiones en la edificación es el de la rehabilitación para la eficiencia energética del parque edificatorio ya construido, y, sin embargo, es el campo en el que es más necesario investigar e innovar para el desarrollo y la aplicación de nuevas soluciones, nuevos sistemas y metodología constructiva y operativa para implementar soluciones eficientes en la captación, la gestión y el uso de la energía.

6.-Las soluciones integradas de intercambio y acumulación geotérmica en edificios existentes propician la microgeneración y el autoconsumo, dos factores clave en la eficiencia de la gestión de la energía, muy escasamente desarrollados en los cascos urbanos.

A partir de aquí, la clave para resolver la implantación de sistemas de intercambio geotérmico en edificios existentes está en los propios procesos de rehabilitación que tienen como primer objetivo la recuperación funcional y económica de los bienes inmuebles y para ello resuelven la mejora y actualización de sus prestaciones y dotaciones.

El impulso definitivo a la rehabilitación se da en España la última década del siglo pasado, y con planteamientos parecidos a los que nos hacemos ahora en términos energéticos. El reto era entonces el desarrollo de soluciones técnicas para la rehabilitación, urbana y arquitectónica. Soluciones que enseguida se imbricaron con fuerza en los ámbitos de la movilidad y la sostenibilidad urbana. La aplicación al aparcamiento de residentes de tecnologías mecánicas de fundamento antiguo, probada fiabilidad y amplia difusión fuera de nuestro país genera, hace una decena de años, el primer concepto de microaparcamiento mecánico de residentes. Aparcamiento compacto, integrado en espacios muy restringidos, autogenerado por la promoción y auto consumido en el propio edificio y su entorno inmediato.

Integral Park Systems, IPS, es la empresa que ha desarrollado en España este concepto y todo el campo técnico, jurídico y comercial que ha permitido la implantación en nuestro país de decenas de instalaciones de aparcamiento mecánico y más de un millar de plazas de aparcamiento en procesos de rehabilitación de edificios. Para ello ha sido necesario adecuar e innovar sobre los procedimientos y téc-

nicas constructivos que permiten la ejecución de importantes vaciados e instalaciones bajo edificios, que no sólo no se demuelen sino que se consolidan en la intervención. Sistemáticamente actuamos creando en el subsuelo vasos contenedores para los sistemas de aparcamiento, con capacidades modulares entre tres y trescientos vehículos, confinados entre pantallas de hormigón, pantallas de pilotes, pantallas de micropilotes o soluciones mixtas, con profundidades del vaso entre seis y veinticinco metros, y profundidad estructural entre diez y más de treinta metros (**Fig. 1**).

Finalmente se han perfeccionado los procedimientos que permiten integrar un producto tecnológico industrializado en una obra de rehabilitación ejecutada mediante procedimientos in situ, en el complejo contexto urbano, particularmente complejo para la ejecución de obras de rehabilitación.

Por lo tanto una vez que la ejecución de las obras y la integración de sistemas industrializados para asegurar dotaciones tan complejas como las de microaparcamiento mecánico han demostrado ser viables y rentables, el siguiente paso ha sido explotar el potencial termodinámico de las estructuras y cimentaciones, para utilizar los aparcamientos como intercambiadores geotérmicos.

Durante los últimos diez años el equipo multidisciplinar de *IPS* ha desarrollado una línea de investigación y desarrollo de soluciones para la captación pasiva de energía a través las estructuras y de los volúmenes de aire de las instalaciones de aparcamiento mecánico, y para la aplicación de su potencial de aprovechamiento térmico en la climatización de los edificios.

La solución es la integración en el proyecto de los aparcamientos y la aplicación de la ingeniería de cálculo, diseño y ejecución de cimentaciones termoactivas una disciplina en la que *IPS* trabaja estrechamente con su socio tecnológico hispano austriaco *Eneres-Enercret* que



■ [Fig. 2].- Integración de obra y tecnología industrializada.

acumula en el campo de las cimentaciones y las estructuras termoactivas más de treinta años de experiencia y cientos de instalaciones acabadas y funcionando (**Fig. 2**).

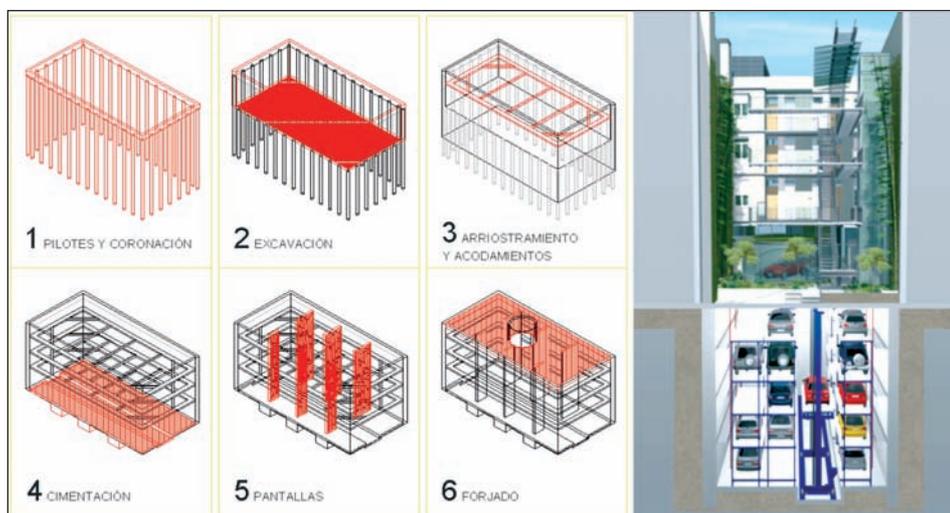
En este momento se están ejecutando en el centro de Madrid media docena de obras de rehabilitación que incluyen este sistema integrado de captación geotérmica y aparcamiento, de entre ellas presentamos dos con distinta escala en edificios con diferentes condicionantes de partida pero con idéntico objetivo en la optimización de la eficiencia energética y el equilibrio técnico económico de las soluciones aplicadas.

La primera corresponde a la ejecución de un *Climapark Parklift* semiautomático para tan sólo 14 vehículos bajo el patio trasero de un edificio privado de oficinas en la calle de *Apolonio Morales*, zona residencial del centro de Madrid en proceso de rehabilitación.

La segunda se desarrolla en la rehabilitación integral un palacete protegido de principios del pasado siglo destinado a oficinas de la administración. Se trata de un *Climapark Levelparker* robotizado para 27 vehículos que se construye directamente bajo dos crujías y el patio del edificio.

Ejecución de un aparcamiento semiautomático con captación geotérmica en la rehabilitación de un edificio privado de oficinas en Madrid

Este caso es un modelo de intervención en la rehabilitación integral de un edificio de oficinas de 800 m² de superficie en una zona residencial y terciaria de alto nivel en Madrid (**Foto 1**). Construido en 1989 el edificio acusaba una obsolescencia total en sus sistemas de climatización y era muy deficiente en su interacción con el medio, no estaba concebido para obtener aprovechamiento energético pasivo, care-



■ [Figura 1].- Ejecución de obra de aparcamiento robotizado. Huertas 39, Madrid.



■ [Foto 1].- Estado previo a la rehabilitación y visualización del proyecto ejecutado.

cia de un adecuado aislamiento, tenía unos niveles bajos de estanqueidad y no recuperaba energía en sus sistemas de ventilación.

En el proceso de rehabilitación se ha actuado eliminando todos los sistemas de instalaciones, divisiones interiores, fachadas y cerramientos y conservando al 95% la estructura y la cubierta del edificio, que tenía un claro potencial termoactivo, en particular en los forjados.

El edificio se replantea en primer lugar con nuevas soluciones de fachada y cubierta que refuerzan el aislamiento y la estanqueidad, resolviendo los puentes térmicos, y dotándolo de dispositivos mecanizados, lamas, y huecos practicables, que permiten desarrollar estrategias pasivas de bajo coste como el control de la captación solar como aporte de energía e iluminación natural, y la realización de ventilación directa nocturna para refrigerar el edificio, según escenarios de mínimo coste y máxima eficiencia, gestionados por el sistema de control.

Como primer paso en el proceso de diseño del intercambiador, se calculó la distribución mensual de energía demandada por el edificio en función de su uso y ocupación, de su régimen de funcionamiento y de las cargas previstas. La distribución de la demanda mensual se aportó como dato de partida en el cálculo y la simulación del funcionamiento del terreno como dispositivo termoactivo acumulador e intercambiador de energía.

La construcción de un aparcamiento mecánico bajo patio trasero del edificio dió pie a la construcción de un vaso contenedor de 6 metros de profundidad con una pantalla discontinua de 46 pilotes de diámetro 45 cm y 10 metros de profundidad de los cuales 23, alternos, fueron activados para su uso como intercambiadores geotérmicos (Fig. 3). El aparcamiento mecánico que se integró en la fórmula Climapark es un IPS Parklift 440, que es, en si mismo, un dispositivo de alta eficiencia energética. Reduce el volumen de obra en un 33% y el consumo energético en un 80% respecto a un aparcamiento convencional, con una repercusión de 10 m² por vehículo.

En un terreno arenoso compacto con corrientes de agua de aforo considerable a partir de 4 metros de profundidad, los 23 pilotes termoactivos intercambian el 25% de la energía

demandada por el edificio. El 75% restante se obtiene con 6 intercambiadores verticales de 100 m de profundidad. La geometría de este intercambiador se introdujo en el modelo de cálculo para comprobar que, efectivamente, se cubrían con intercambio geotérmico el 100% de las necesidades de calefacción y refrigeración del edificio. Sin duda, la presencia de agua a poca profundidad y la porosidad del terreno han favorecido la capacidad de refrigeración, que era más crítica que la de calefacción. El régimen de temperaturas en el suelo oscila entre 14°C tras el invierno y 26°C tras el verano.

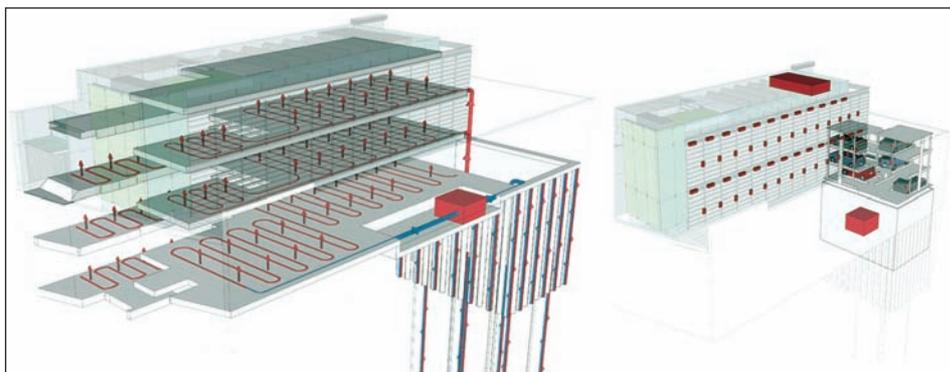
Las condiciones de ejecución estaban condicionadas por el acceso al patio trasero, una rampa de 25 m de longitud y 3m de anchura, y por el restringido espacio del patio, 12 x 15

m, donde se ejecutaron con pequeñas máquinas de pilotaje y perforación los 23 pilotes termoactivos y los 6 intercambiadores verticales. La propia pantalla de pilotes actúa además como recalce del muro perimetral de contención de 7 m de altura que delimita el patio en tres de sus lados, el cuarto lo ocupa el edificio, cuya cimentación fue eliminada para realizar el vaciado.

La red horizontal de conductos que recoge los circuitos de los pilotes termoactivos y los conecta con el colector de la sala de bombas de climatización, discurre por el interior de la viga de atado que recoge las cabezas de todos los pilotes del vaso del aparcamiento. La red horizontal que recoge los circuitos de los seis intercambiadores verticales está embebida en la losa de fondo del vaso (Foto 2).

La ejecución integrada de los sistemas estructurales, mecánicos y energéticos fue objeto de un minucioso estudio de interferencia y compatibilidad que se volcó en la planificación del proceso constructivo y en la adopción de mecanismos y medidas preventivas que permitieron la construcción simultanea de los tres sistemas sin errores y en un plazo muy ajustado de tiempo.

La integración de los intercambiadores geotérmicos en la estructura del aparcamiento su-



■ [Fig. 3].- Esquema del sistema de intercambiador geotérmico mixto integrado en el aparcamiento semiautomático Climapark Parklift, bomba de calor geotérmica y forjados termoactivos.



■ [Foto 2].- Ejecución de la pantalla discontinua con 23 pilotes termoactivos que constituyen el vaso contenedor del sistema semiautomático de aparcamiento.



[Foto 3].- El edificio rehabilitado y el aparcamiento semiautomático que integra el intercambiador geotérmico que cubre el 100% de la demanda energética para la climatización del edificio.

pone un ahorro del 40% en el coste del kW geotérmico instalado respecto al coste de los intercambiadores verticales. La reducción del consumo energético del edificio, respecto a la situación original, se cifra en un 87 %. La reducción de los gastos de consumo eléctrico en un 75 % y la reducción de los costes de mantenimiento de la instalación en un 63 % (**Foto 3**).

Ejecución de un aparcamiento robotizado con captación geotérmica en la rehabilitación integral de un palacete para oficinas de la Administración

El segundo caso que se presenta supone un grado más de complejidad en la ejecución del intercambiador *Climapark*, pues se trata de la rehabilitación integral en Madrid de un palacete de principios del siglo pasado, edificio protegido y conservado en lo que se refiere a toda la estructura de muros portantes que define su distribución original (**Foto 4**).

La rehabilitación integral de este edificio, un palacete construido a principios del pasado siglo en el corazón del barrio de *Chamberí* y con un alto grado de protección urbanística, ha sido promovida por la Administración del Estado, Ministerio de Hacienda. Este caso es un modelo de rehabilitación para la eficiencia energética y de incorporación de un sistema de climatización fundamentado en la captación geotérmica y la utilización de la estructura horizontal como dispositivo termoactivo de climatización, calefacción y refrigeración, en un edificio protegido rehabilitado.

La incorporación de estos sistemas en un proceso de rehabilitación integral es enormemente coherente, no sólo con los objetivos de ahorro energético, que en este caso alcanzan el 75% de reducción de consumo respecto al proyecto de ejecución original, sino también desde el punto de vista de la integración en el terreno y en la estructura del edificio de los dispositivos de intercambio y climatización, disminuyendo muy significativamente el impacto negativo de maquinaria, equipos y conductos sobre la arquitectura interior y exterior del edificio.

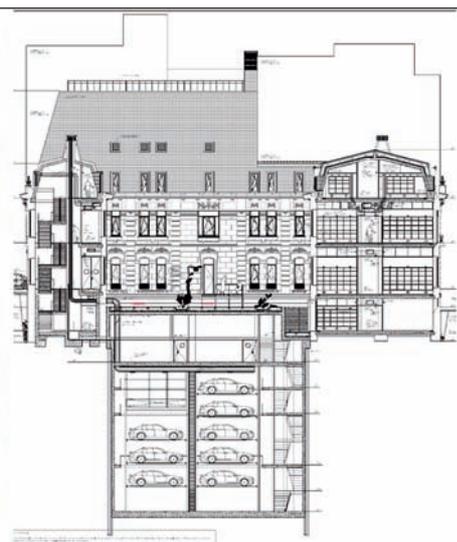
Se proyecta un edificio extraordinariamente eficiente basado en la captación geotérmica, y la utilización de la bomba de calor geotérmica para la climatización mediante la utilización termoactiva de todos los elementos de la estructura horizontal del edificio que son losas de hormigón visto, de considerable espesor, 25/ 30 cm, y masa, 600/ 720 kg/m², con un enorme potencial de absorción, cesión y

acumulación de energía en rangos de temperatura moderados y tiempos prolongados.

La construcción de un sistema compacto de aparcamiento robotizado bajo una parte del edificio dio lugar a la ejecución de una pantalla discontinua de pilotes de los que 45 unidades se activaron para ser utilizados como parte del intercambiador geotérmico. La otra parte la constituyen 14 intercambiadores verticales de 150 m de profundidad.

La ejecución del intercambiador mixto, pilotes termoactivos e intercambiadores verticales, respetando la estructura de los muros y los cerramientos del edificio protegido ha supuesto un reto en la selección de equipos, en la selección y puesta en obra de la maquinaria de perforación, en el desarrollo de procedimientos constructivos y en el diseño del intercambiador.

En rehabilitación, el factor ejecución es, con la demanda energética y el uso del edificio, y las características geofísicas del terreno, uno de los determinantes en el diseño del intercambiador, y en este caso, la ejecución de pilotes y perforaciones fue un reto superado con éxito (**Foto 5**).



[Foto 4].- Vista general del edificio en rehabilitación y sección por el sistema integrado de aparcamiento mecánico e intercambiador geotérmico *Climaparker 590* para 27 vehículos.



[Foto 5].- Proceso de ejecución de los intercambiadores verticales y los pilotes termoactivos del sistema *Climapark* en los espacios ajustados del edificio protegido en rehabilitación.



[Foto 6].- Vistas de las cajas de armado termoactivadas para los pilotes del sistema Climapark, y pilotes termoactivos alternos ejecutados en la pantalla del aparcamiento robotizado.

La instalación de captación tiene una configuración mixta, en parte resuelta con un sistema *Climapark Levelparker* para 27 vehículos que integra 45 pilotes termoactivos, uno de cada dos, de una pantalla discontinua con pilotes de 20 metros de longitud y 45 cm de diámetro. Este sistema cubre aproximadamente un 25% de la demanda total del edificio y el resto se resuelve con 14 intercambiadores verticales de 150 m de profundidad **(Foto 6)**.

En este caso el diseño del intercambiador geotérmico no sólo se realizó a la vista de los análisis del terreno, de la demanda distribuida del edificio, y de la geometría prevista en el proyecto para los elementos constructivos y de cimentación, sino con una consideración muy particular sobre el proceso de perforación, la maquinaria necesaria para ejecutar cada una de las dos partes del intercambiador, la capacidad de acceso a las distintas zonas del edificio donde se debían ejecutar pilotes y/o perforaciones y los plazos de ejecución que la combinación de todos estos factores suponían. En este sentido esta obra es verdaderamente innovadora, pues no hay precedente hasta la fecha de una actuación parecida en la ejecución de un sistema de intercambio geotérmico en el interior de un edificio protegido, con una potencia instalada de 100 kW en calefacción y 119 kW en refrigeración.

Estudiado el equilibrio termodinámico entre el edificio en carga de uso, y el terreno, la capacidad del intercambiador resolvía el 100% de la demanda de energía para la calefacción del edificio, y el 70% de la demanda de energía para la refrigeración. La cobertura total en refrigeración se ha resuelto incorporando un sistema de inducción estacional del terreno que aprovecha el salto térmico día/noche entre los meses de marzo y junio para preenfriar y garantizar el 100% de la cobertura en los meses de julio y agosto.

El intercambiador geotérmico alimenta un grupo formado por dos bombas de calor geotérmicas con una potencia de 110 kW. Du-

rante los periodos interestacionales, el sistema aprovecha las temperaturas correspondientes a la máxima recarga y descarga térmica del terreno para actuar realizando refrigeración libre y calefacción libre, directas, por recirculación y sin aporte energético de las bombas de calor. La interacción con un sistema de climatización inercial que acumula enormes cantidades de energía a temperaturas moderadas permite obtener el máximo rendimiento, COP entre 4 y 4,5, de las bombas de calor geotérmicas y aprovechar al má-

ximo los periodos de climatización libre por recirculación **(Foto 7)**.

La rehabilitación integral del edificio incluye la reconstrucción de los forjados, muy deteriorados, sustituyéndolos por losas de hormigón visto. Se aprovecha esta decisión de proyecto para plantear que todas las losas sean termoactivadas, lo que supone una masa termoactivada de 500 kg/m² y un total de más de 1.500 toneladas de hormigón termoactivo en el edificio, cuyo potencial para ser el dispositivo acumulador, transmisor y absorbedor de energía, permite resolver la climatización del edificio, con gran confort radiante **(Foto 8)**.

Finalmente es importante dejar constancia de que en este proyecto, originalmente resuelto con instalaciones convencionales basadas en sistemas de bomba de calor aire-aire y caldera de gas, la solución final, en construcción, y a pesar de las especiales y complejas condiciones de trabajo, es competitiva en coste de ejecución con la inicialmente planteada, resuelve la integración constructiva con el edificio rehabilitado de manera plena, mejora las condiciones de confort y arroja un balance de ahorro en costes de energía consumida en climatización en torno al 66%

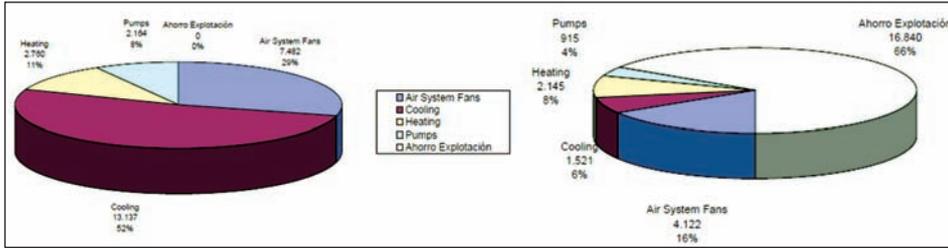


[Foto 7].- Vistas de la ejecución de la pantalla termoactivada del aparcamiento robotizado, que resuelve el intercambio geotérmico. Instalación de la maquinaria del aparcamiento IPS Levelparker.



[Foto 8].- Vistas de la ejecución de las losas termoactivadas que resuelven la refrigeración y calefacción del edificio.

Geotermia



intercambio térmico en el sótano para el pre-tratamiento del aire de renovación, suponen un ahorro energético, respecto a la solución convencional originalmente proyectada, del 75%. El ahorro en mantenimiento de la instalación se estima en un 60%. □

[Figura 4].- Diagramas de consumo anual (en €/año) en los sistemas de climatización del edificio según el proyecto original (izquierda) y el finalmente ejecutado (derecha).

ANNUAL EMISSIONS

Component	PROYECTADO	ESTUDIO	AHORRO	%
CO2 (kg)	124.569	47.216	77.353	62%
SO2 (kg)	184	71	113	61%
NOx (kg)	157	65	92	59%

[TABLA I].- Emisiones según el proyecto original (proyectado) y el finalmente ejecutado (estudio) y balance de reducción de emisiones (ahorro).

y una reducción de emisiones en torno al 60%, cuyo desglose expresa en los diagramas de la Fig. 4 y Tabla I

La utilización de sistemas de captación geotérmica y termoactivos, asociada a otros recursos menores como la captación solar o el

INTEGRAL PARK SYSTEMS - IPS
 Santa María, 41 - Bajo
 28014 Madrid
 T: +34 91 369 10 50 • Fax: 913 690 800
 E-m: ips@integralparksystems.com
 Web: www.integralparksystems.com

climapark

aparcamiento mecánico + estructuras termoactivas

IPS es la primera empresa en Europa que ha construido sistemas de aparcamiento mecánicos con alta eficiencia en el uso del espacio de aparcamiento y de la energía, que además integran sistemas de intercambio geotérmico para la climatización eficiente de los edificios en los que se implementan (sistemas climapark).



Edificio de oficinas en la C/ Apolonio Morales 29, Madrid. Mención de Honor a la Mejor Instalación Geotérmica en el Sector Industrial y de Servicios de la Comunidad de Madrid en 2009, concedido por la Consejería de Economía.

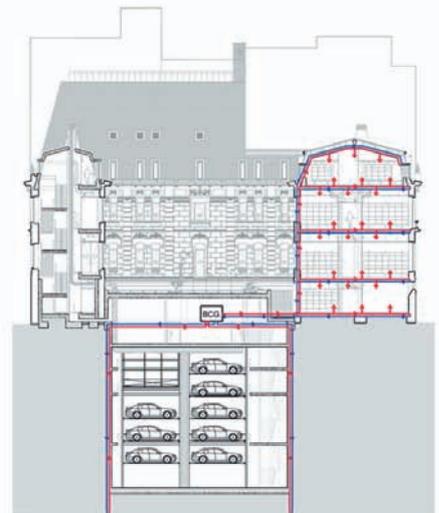


Edificio de viviendas en la C/ Margaritas 52, Madrid. Premio a la Mejor Instalación Geotérmica en el Sector Residencial de la Comunidad de Madrid en 2009, concedido por la Consejería de Economía. Mención especial otorgada a la EMVS en los PREMIOS ASPRIMA-SIMA 2010 en la categoría de Mejor Iniciativa Tecnológica y Sostenible en Edificios. Premio PROGRESO 2010 de la Fundación de Municipios de Andalucía.



Integral Park Systems S.L.
 C/ Santa María 41
 28014 Madrid
 T. +34 91 369 10 50
 F. +34 91 369 08 00
ips@integralparksystems.com
www.integralparksystems.com

IPS está participando con climapark en las principales obras de rehabilitación para la eficiencia energética, públicas y privadas que se están realizando en el centro de Madrid, donde el aprovechamiento de estos recursos tiene un enorme valor.



Palacete protegido rehabilitado para la Administración del Estado en el barrio de Chamberí de Madrid. Esquema de la instalación de intercambio geotérmico y climatización termoactiva con aparcamiento robotizado.

Nueva gama de perforadoras Comacchio para Geotermia

Las empresas de perforación demandan equipos fiables, robustos y con una buena maniobrabilidad. Comacchio lleva fabricando equipos de perforación para geotermia desde hace más de 15 años, y, la experiencia acumulada, le ha permitido situarse como el primer fabricante, por calidad y número de equipos vendidos, en el mercado europeo.

El constante desarrollo tecnológico hace que sus equipos sean cada vez más fiables, robustos y ofrezcan mayores producciones.

De la actual gama de equipos vamos a centrarnos únicamente en aquellos que montan doble unidad de rotación, por ser –debido a la geología tan variada– los más indicados en nuestro país.

Perforadora MC 450P.1- 2011

El más pequeño de la gama, es un versátil equipo de perforación capaz de revestir a más de 80 metros de profundidad (Fig. 1).

La capacidad de revestimiento, en este tipo de equipos, es proporcional al par de rotación de la unidad inferior, y la MC 450P.1 es el equipo con mayor par de rotación de su categoría, hasta un máximo de 2.400 daNm. En la última versión, se ha rediseñado el *preventer*, instalándolo sobre la unidad inferior, para montar en su lugar una mordaza hidráulica. El nuevo conjunto, más compacto que el anterior, hace la maniobra de extracción de tubería y varillaje más sencilla y mucho más rápida. Esta opción está disponible en todos los equipos de Comacchio con doble unidad de rotación.

Una vez revestido el sondeo, es importante contar con la suficiente capacidad de tiro para

De la actual gama de equipos Comacchio para geotermia, el presente artículo se centra únicamente en aquellos que montan doble unidad de rotación, por ser –debido a la geología tan variada– los más indicados en nuestro país.

Palabras clave: GEOTERMIA, HIDRÁULICO, MORDAZA, PAR, PERFORACIÓN, PROFUNDIDAD, ROTACIÓN, TUBERÍA.

Nicolás MARTÍN SUÁREZ, Ing. Minas.
Dtr. de SOLUCIONES T. DE PERFORACIÓN, S.L.

poder extraer la tubería de revestimiento recuperable, y en este punto, la MC 450P.1, es también la más potente de su categoría, con una capacidad de extracción de 9.500 daN, y la posibilidad – opcional – de montar un extractor de tubería en la base de la corredera con una capacidad superior a 20.000 daN.

La carrera útil de este equipo puede ser de 3,5 ó 4,5 metros. En este último caso, es posible trabajar con maniobras de 4 metros, reduciendo a la mitad el número de maniobras y aumentando la productividad del equipo.

La MC 450P.1 dispone de un sistema de carga y descarga del varillaje y tubería de revestimiento, formado por un brazo giratorio - accionado por dos cilindros hidráulico-, un cabestrante auxiliar y un dispositivo de carga de tipo magnético (Fig. 2). Este sistema de carga, independiente del cabestrante principal,

permite agilizar la maniobra, y, gracias al diseño exclusivo de Comacchio, hacerla más cómoda y sencilla.

La mordaza de estos equipos debe ser robusta y fiable, ya que se trabaja con sartas de perforación de hasta 200 metros, y es importante contar con una mordaza que nos dé la máxima seguridad. Debe ir provista, como es el caso de los equipos de Comacchio, de válvulas de seguridad y acumuladores de presión. El diseño robusto del sistema de mordazas evitará averías y la pérdida de la sarta de perforación. La mordaza triple, además, nos permitirá trabajar con comodidad y seguridad (Fig. 3).

La MC 450P.1 dispone de diferentes accesorios para trabajo con martillo en fondo o con bomba de lodos, como son: bombas de agua/espumante, bomba de lodos, lubricador para martillo en fondo, válvulas de aire y descarga electro-hidráulicas, kit de lavado con bomba de alta presión, protecciones de goma en las orugas, instalación hidráulica para accionamiento del equipo de inyección de mortero, etc.

En la *Tabla 1* se exponen las especificaciones principales de los equipos Comacchio específicos para perforación geotérmica.

Perforadora MC 900 / 900GT- 2011

El cargador semiautomático de gran capacidad para varillaje y tubería de revestimiento, hacen que la MC 900GT sea un equipo único en el mercado. El cargador patentado por Comacchio, permite –en su nueva versión– trabajar con 130 metros de tubería de revestimiento



■ [Figura 1] .-Equipo de perforación MC 450P.1.



■ [Fig. 2].- Elevador magnético.



■ [Fig.3].- Triple mordaza hidráulica.

Especificaciones Equipos Comacchio	MC 450P.1	MC 900P	MC 900GT
Par máximo Unidad Inferior (daNm)	2.400	3.600	3.600
Par máximo Unidad superior (daNm)	720 / 930	930	930
Fuerza de tiro (daN)	9.500	20.000	20.000
Longitud maniobra (m)	2 / 4	2 / 4	2
Extractor tubería (daN)	20.000	ND	ND
Capacidad revest. con martillo neum.	70 – 80	150 – 160	150 – 160
Capacidad revest. con bomba de lodos	100	180 - 200	180 - 200
Capacidad sin revestimiento	180 – 200	+ 300	+ 300

y 130 metros de varillaje con un solo operador. El nuevo diseño del cargador, con un sistema de apertura lateral, hace más rápida aún la maniobra de carga y descarga de tubería y varillaje (**Fig. 4**).

Si además sumamos a esto la nueva unidad de rotación –con un par máximo de 3.600 daNm– con preventer y mordaza hidráulica incorporadas, hacen de la **MC 900GT** el equipo más rápido del mercado (**Fig. 5**). No sólo la maniobra de carga y descarga es más fácil y rápida con este sistema, además el tiempo de emplazamiento en cada sondeo es mínimo, si lo comparamos con cualquier otro equipo del mercado. Se trata sin duda de un equipo de gran producción y altas prestaciones

En obras de cierta envergadura y dificultad, donde una elevada producción es vital para obtener una buena rentabilidad, este equipo no sólo es capaz de obtener las mayores producciones, sino que además realiza la perforación, con o sin revestimiento, la extracción de varillaje, y posteriormente de la tubería de revestimiento, con un único operador.

La **MC900P** y **MC900GT** tienen una capacidad de extracción –directa en la unidad de rotación– de 20.000 daNm, y pueden revestir hasta una profundidad de 150/160 metros con martillo en fondo, habiéndose alcanzado pro-

fundidades de 200 metros con bomba de lodos y revestimiento simultáneo del sondeo.

Estos equipos pueden montar diferentes bombas de lodos, hasta 750 l/min, así como diferentes accesorios para trabajo con martillo en fondo: lubricador, válvulas de aire y descarga electro-hidráulicas, bomba de agua/espumante, etc., pudiendo configurarse según las necesidades de cada cliente.

Equipo de inyección y tratamiento de lodos MPTU 1500/50

Comacchio ha desarrollado un equipo compacto de inyección y/o tratamiento de lodos. Este equipo resuelve los problemas derivados del tratamiento del lodo y la imposibilidad, en muchos casos, de trabajar con balsas de lodos.

El **MPTU 1500/50** consta de una bomba de lodos de 600 l/min a una presión máxima de 45 bar, un equipo de tratamiento de lodos –desarenador–, y un depósito con capacidad para 1.500 litros (**Fig. 6**). Con este equipo no son necesarias las balsas de lodos, y permite recoger el detritus sólido, que es depositado en un contenedor de residuos. No sólo facilita las labores de perforación y permite tra-

[TABLA I] .- Especificaciones técnicas principales de la gama Comacchio de perforadoras para Geotermia.



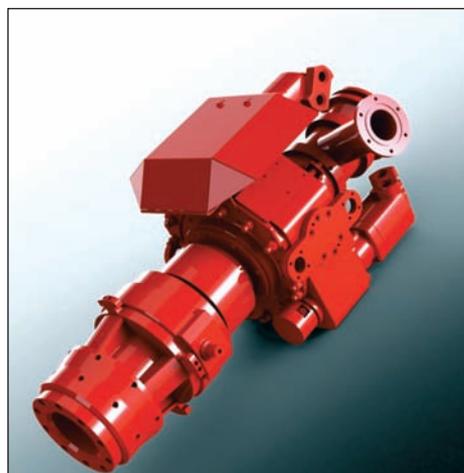
[Fig. 4].- Equipo de perforación MC 900GT.

bajar en espacios más reducidos, sino que facilita el trabajo de gestión de los residuos, separando la fase líquida de la fase sólida y generando un volumen de lodo de escasamente 1,5 m³.

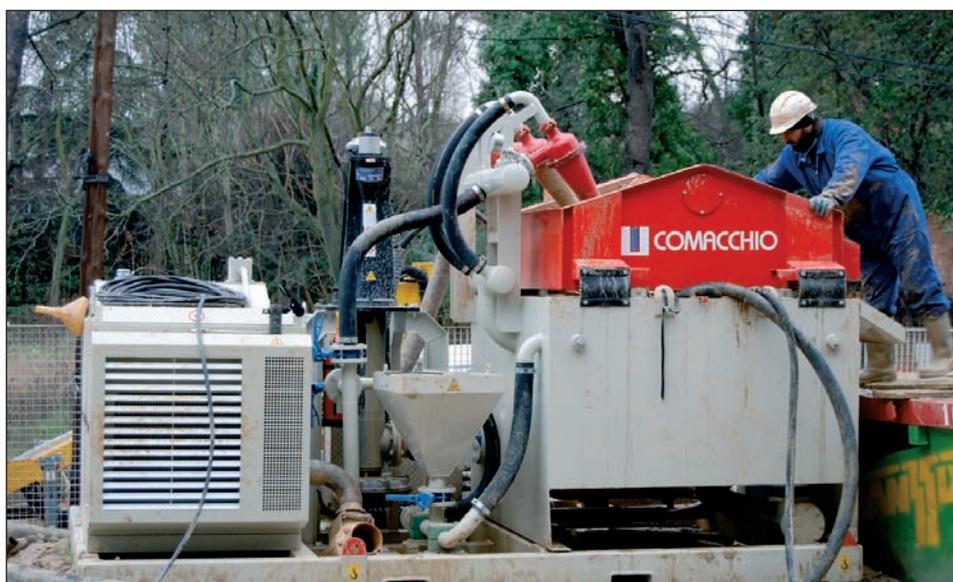
El equipo es completamente autónomo, accionado por motor diesel, y es controlado desde el equipo de perforación, por medio de una consola de control por cable.

Equipos de inyección para geotermia

El fabricante alemán *Gerotec*, ha desarrollado una gama de equipos de inyección para mezclas de cemento y bentonita, y morteros especiales de alta conductividad térmica. Estos equipos son ideales para su utilización en la



[Fig. 5].- Nueva unidad de rotación compacta con preventer y mordaza hidráulica.



[Figura 6].- Equipo de inyección y tratamiento de lodos MPTU 1500/50.

GERTEC	Tipo de accionamiento	Caudal (l/min)	Presión máxima en continuo (Bar)	Consumo de potencia (kW) / Conexión	Caudal aceite hid. (l/min) / Presión (Bar)	Capacidad Mezclador / Depósito amort.	Peso (kg)
IS 33	E	40	16	4,5 / 16 A	-	100 / 150	220
	H			-	32 / 140		
IS 35	E	40	40	11,5 / 32 A	-	150 / 300	500
	H			-	60 / 180		
IS 38	E	60	24	7,1 / 16 A	-	150 / 300	420
	H			-	60 / 140		

[TABLA II] .- Gama Gertec de equipos de inyección para Geotermia.



[Figura 8] .- Equipo de inyección K Mungg08 GT.

instalación de sondas geotérmicas por la sencillez del equipo, los bajos costes de operación, sus reducidas dimensiones y la calidad de la suspensión obtenida, homogénea y esta-

ble, minimizando la sedimentación de los componentes de la mezcla.

Los tres modelos fabricados por Gertec (Tabla II) están disponibles en versión eléctrica o hidráulica, para ser accionados por el circuito hidráulico de la máquina perforadora. Comacchio incorpora un circuito hidráulico extra para el accionamiento de las bombas Gertec (Fig. 7).

Para la inyección de morteros ensacados, el fabricante suizo Kuchler fabrica un equipo de inyección y mezcla simultáneas de reducidas



[Figura 7].- Equipos de inyección de accionamiento hidráulico modelo IS 38H.

dimensiones. Estos equipos pueden trabajar a una presión máxima de 40 Bar y caudales comprendidos entre 8 y 60 l/min, con alimentación manual o bajo silo (Fig. 8).

Soluciones Técnicas en Perforación, S.L.
 Av. Las Palmeras, 18 • Pl. La Sendilla
 28350 Ciempozuelos (Madrid)
 ☎: 918 753 168 • Fax: 918 753 169
 E-m: info@solutecsl.com
 Web: www.solutecsl.com

www.ingeopres.com



Conecte con nosotros
y conozca on-line
la actualidad del sector

eg
entorno
gráfico

**AHORA, toda la información
está en INTERNET**

IngeoPres

SCV
SERVICIO DE
CONSEJO TECNICO

Publi
tec

GEOTERMIA

PERFORADORAS – EQUIPOS DE INYECCIÓN – ACCESORIOS PERFORACIÓN
MORTEROS DE ALTA CONDUCTIVIDAD – EQUIPOS TRATAMIENTO DE LODOS



Avda. de las Palmeras, 18
Pol. Ind. La Sendilla , Nave E2 – E3
28350 – Ciempozuelos (Madrid)
Tel. 91 875 31 68 / Fax. 91 875 31 69
info@solutecsl.com



www.solutecsl.com

Presentada por Tecop en sus instalaciones de Cerceda (Madrid) junto a equipos de inyección, TRT...

Demostración de la nueva perforadora para geotermia Fraste Multidrill XL DR

El fabricante italiano de equipos de perforación Fraste, ha sido de las primeras empresas en comprender la importancia y el potencial de los sistemas de climatización mediante Geotermia; y ello ha promovido que durante una década haya investigado y desarrollado equipos de perforación específicos para la captación y aplicación de este tipo de energía renovable. La **Multidrill XL DR** (doble cabezal de rotación) es una perforadora hidráulica desarrollada por Fraste para la ejecución de sondeos a rotoperusión y circulación directa de lodos, que con su doble cabezal permite el revestimiento simultáneo en caso de inestabilidad de las paredes del sondeo.

Para presentar al mercado español las posibilidades de esta perforadora en sondeos geotérmicos, Tecop, S.A. —distribuidor para España de los equipos Fraste—, realizó una demostración, el pasado 18 de febrero en sus instalaciones de Cerceda (Madrid), de la capacidad de esta unidad en el campo de la perforación geotérmica.

Características de la Fraste XL DR

Estructura base, modelo **Multidrill XL**, versión insonorizada que comprende: chasis, depósitos de carburante y aceite hidráulico, soporte de columna de perforación con cilindro de elevación, deslizadera en columna de 600 mm de carrera.

Sistema hidráulico completo *load sensing*, para todas las funciones de la perforadora, filtro de aceite hidráulico de aspiración y retorno, latiguillos rígidos y flexibles, intercambiador de calor para la protección del sistema en caso de sobrecalentamiento del aceite hidráulico.

Panel de mandos dotado de todos los instrumentos de funcionamiento y control de las operaciones de perforación, mandos, manómetros, así como panel de motor diesel.

Motor diesel John Deere 4045TF275, refrigerado por agua, fijado al chasis con soportes antivibración, completo de sistema eléctrico y batería, insonorizado, con una potencia de 140 CV a 2.500 r/min; mando eléctrico provisto de cable de 10 m para funcionamiento de las orugas.

Columna de perforación para tubería de 2000 mm, sistema de elevación por cilindro hidráulico. Cilindro de tiro y empuje montado en el interior de la columna provisto de válvula de bloqueo. Regulación continua de la presión y velocidad

de empuje. La columna va provista de guías en acero antidesgaste para el desplazamiento del carro de la cabeza de rotación. Tiro, 8000 kg; empuje, 5000 kg, y recorrido útil de 3500 mm.

Carro de desplazamiento para las dos cabezas de rotación, con desplazamiento lateral y basculante de la cabeza mediante cilindro hidráulico protegido en su interior. Cabeza de rotación **R06D100** para la rotación de la tubería de perforación de 88,9 mm, con estructura monobloque de acero. Dos velocidades de rotación mediante selector en panel de mandos. Par de rotación de 600 y 300 kgm a velocidades de 80 y 40 r/min; y cabeza de rotación **R16D100 P** para la rotación de la tubería de perforación de 88,9 mm, con dos velocidades de rotación y un par máximo de 2400 kgm a 20 r/min.

Mordaza en cabezal de rotación para tubería de revestimiento y perforación, con diámetro de cierre para 177,8 mm y 88,9 mm. Mordaza doble montada a pie de columna de perforación, la superior con giro para desbloqueo de tubería de perforación, dotada de placas intercambiables, y cierre de 60 a 280 mm de diámetro.

Orugas en goma de 1900 mm de ancho, dotada de válvula hidráulica de freno, con una longitud de 1900 mm y ancho de teja de 400



La Multidrill XL DR (doble cabezal de rotación) ha sido desarrollada específicamente para la perforación geotérmica con revestimiento simultáneo del sondeo.

Los asistentes a la demostración siguieron con gran interés las evoluciones de la perforadora.



Geotermia



Detalle de las mordazas hidráulicas de la perforadora para la sarta de perforación y la tubería de revestimiento.

El equipo neumático para inyección Clivio, el eléctrico Marmotta y los TRT s Geogert dispuestos en la demostración.



mm. Pendiente superable 60%. Velocidad de traslación, 2,5 km/h.

Como elementos auxiliares cuenta con cabezal hidráulico, polea giratoria en columna, bomba de lodos, engrasador en línea, válvula de aire/lodos, iluminación nocturna, preventer, diverter y racores de salida.

Equipos auxiliares

Junto a la perforadora, también se mostró:

- Grupo compacto de inyección neumático

Clivio MP/A2, para lechada de cemento e inyecciones químicas, con capacidad para 200 l/h.

- Mezclador-inyector eléctrico portátil *Marmotta 2008 Plus*, para inyecciones en continuo de mezclas cementadas con granulometrías de hasta 4 mm y hasta 100 m de distancia.
- Sistema *Geotert 2.0* para realización de *Test de Respuesta Térmica (TRT)*, que permite una monitorización continua de los

datos en remoto. Presentan un informe conformado y garantizado. Es modular y transportable fácilmente en un automóvil.

TECOP, S.A.
Granito 17 - 18
28412 Cerceda (Madrid)
☎: 918 420 055 • Fax: 918 420 418
E-mail: sales@tecopsa.com
Web: www.tecopsa.com

Soluciones globales en sistemas de perforación.



TECOP, S.A.
TECNICAS PARA O.P. Y SEGURIDAD S.A.

GEOTERMIA.

Equipos de perforación doble cabezal.

Equipos para TRT.

Herramientas de perforación.

Equipos de inyección neumáticos.

Equipos de inyección eléctricos.

Climatización mediante el intercambio de energía con las aguas residuales de las infraestructuras urbanas de saneamiento

La exigencia de sostenibilidad y eficiencia en la edificación y en particular en la climatización tiene que canalizarse a principios del siglo XXI hacia el aprovechamiento de la principal fuente de recursos primarios del planeta, la ingente cantidad de residuos energéticos y materiales que genera una parte muy pequeña de la humanidad a costa, y a veces en detrimento, del resto. Extraer con medios y recursos técnicos y tecnológicos fiables y económicos, y aplicar en la climatización de los edificios la energía contenida en las aguas residuales de las redes urbanas de alcantarillado, con sistemas de alta eficiencia y confort, baja potencia, mucha energía y bajo consumo, está hoy al alcance de los agentes públicos y privados, responsables de reorientar la conducta energética del sector de la edificación en la nueva construcción y sobre todo en la rehabilitación del enorme parque ya construido y energéticamente despilfarrador. La reconversión en recursos primarios de los residuos es hoy posible, hacerlo es irrenunciable.

El contexto de la eficiencia energética a principios del siglo XXI va mucho más allá del ámbito estrictamente tecnológico, de la eficiencia de los equipos, maquinaria e instalaciones de climatización. La eficiencia en la climatización se debe entender hoy como una acción en cascada que va implementando recursos de bajo impacto y alto rendimiento a cada uno de los aspectos que determinan la eficiencia de un conjunto edificado, un edificio nuevo, o un edificio rehabilitado, haciendo que el

Palabras clave: AGUAS RESIDUALES, ALCANTARILLADO, BOMBA DE CALOR, CLIMATIZACIÓN, EFICIENCIA, ENERGÍA, EXERGÍA, ESTRUCTURAS TERMOACTIVAS, INTERCAMBIO DE ENERGÍA.

Luis PEREDA FERNÁNDEZ, Arquitecto.
ENERES Sistemas Energéticos Sostenibles.

de frenar la degradación y el crecimiento del im-

pacto sobre los ecosistemas en un planeta cada vez más urbanizado. La aproximación tradicional, cuantitativa, centralizada y especulativa, al campo de la transformación y uso de la energía tiene que ser sustituida por un planteamiento cualitativo, distribuido y solidario.

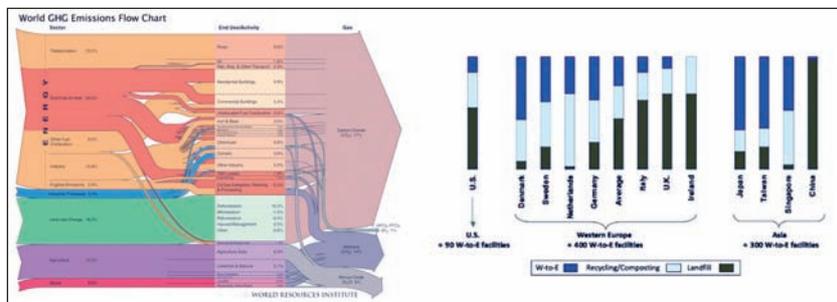
La aproximación exergética a los procesos de transformación de la energía nos conducen a crear sistemas, infraestructuras, edificios y dispositivos que potencien la componente útil de la energía (*exergía*) y minimicen la componente residual,

entrópica (**Figs. 1 y 2**).

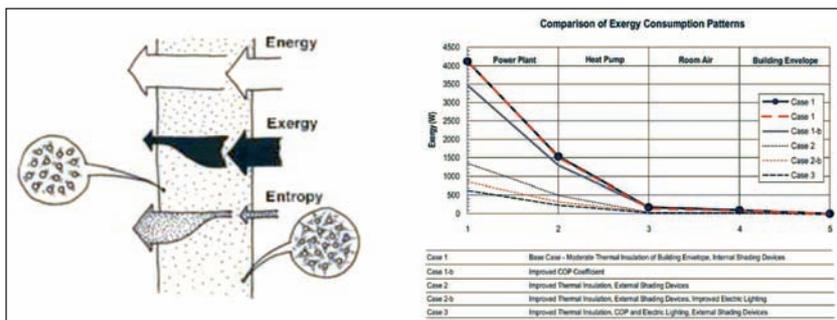
Tiene toda la lógica y es de sentido común propiciar el desarrollo de técnicas y tecnología orientadas a extraer de los recursos primarios que ya se utilizan hoy hasta diez veces más de rendimiento y utilidad. Abundar en aumentar la generación de energía primaria, la transformación de primer escalón, frente a la mejora del medio de aplicación, de la transferencia y de la gestión operativa de los edificios, es insistir en una actitud catastrófica que nos lleva indefectiblemente al abismo. El problema no es la generación sino la gestión en el uso de los recursos.

Eficiencia en climatización, cualificación de la energía, reducción de la entropía

La exigencia de sostenibilidad y eficiencia en la edificación y en particular en la climatización se convierte hoy en un factor de supervivencia por la imperativa necesidad



[Fig.1].- Ética y energética. El consumo de recursos primarios genera desde una economía centralizada y focalizada en la producción, ingentes cantidades de residuos, incluida una parte importante del 16% de los recursos mundiales que se destinan a suministrar energía y calor a los edificios. Se plantea un mercado global de reciclado, recuperación del suelo y conversión de residuos en energía útil, que necesariamente será: distribuido, escalable, modular, y estructurado en redes y microredes inteligentes.



[Fig. 2].- Exergía. Integración en el análisis del consumo de energía útil de todos los aspectos que determinan la eficiencia en la climatización. Reducción del desperdicio energético mediante la implementación de estrategias bioclimáticas y tecnológicas, activas y pasivas en la edificación.

currir como valiosas fuentes de energía primaria para la climatización de nuestros edificios, a recursos energéticos que nos rodean y que se eliminan como residuales en muchos procesos y sistemas urbanos.

La industria, las infraestructuras, el transporte, son sistemas que generan de una manera constante ingentes cantidades de energía transformada irreversiblemente en inaplicable en sus propios procesos. Hoy se da la paradoja de que la eliminación por disipación de esa energía en la atmósfera, el agua y el suelo construye una fuente de impacto y contaminación ambiental y es objeto de cuantiosas inversiones y costes en la operación y la explotación. Podría al contrario ser una fuente gratuita y constante de recursos energéticos de muy bajo impacto aplicados a la climatización, porque en la climatización de los edificios están desarrolladas desde tiempos inmemoriales las técnicas de captación, almacenamiento, y transferencia de energía a media y baja temperatura, y además, la progresión técnica y tecnológica de las últimas décadas ha permitido perfeccionar las posibilidades y el rendimiento de los dispositivos de intercambio termodinámico y los de gestión y control de la operación de los edificios para ejecutar con precisión las estrategias y los escenarios de eficiencia energética a lo largo de su ciclo de vida.

El caso de la energía de media y baja temperatura es especialmente claro porque las fuentes de este tipo de energía no sólo proceden del exterior de los edificios sino que se encuentran en los edificios mismos, o si preferimos contemplarlo con un poco más de perspectiva, la generación de energía térmica a baja y media temperatura se produce dentro de la ciudad, de los barrios, de los cascos urbanos, propiciando su inmediata recuperación y su utilización sin necesidad de transporte ni pérdidas en la transferencia a distancia.

Es el caso que nos ocupa, el de las aguas residuales que contienen la energía de nuestras casas (Fig. 3), de nuestro organismo, la que le aportan nuestros equipos domésticos o



[Foto 1].- Ejecución de las obras de instalación de intercambiadores: instalado en un colector ovoide existente, e integrado en el hormigón un conducto de sección circular en una nueva construcción.

la que le transferimos para usarla caliente. Si el agua es en sí misma un recurso escaso y de enorme valor, que debe ser recuperado y reutilizado lo más cerca posible o en el propio punto de consumo; la energía que contiene es un valioso recurso que inyectamos con el agua a las redes de recogida y que es muy fácil recuperar y aplicar a la climatización en el mismo contexto urbano.

Captación y uso en la climatización de la energía de las aguas residuales en la red de alcantarillado

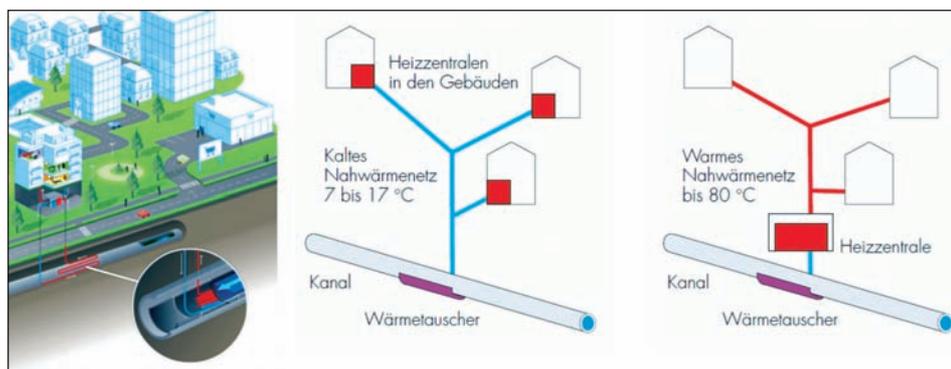
Desde los edificios en los que vivimos se alimenta constantemente con agua y energía las redes subterráneas de saneamiento urbano. Enormes cantidades de energía han sido consumidas en el calentamiento de este agua para su uso y enormes cantidades de agua a temperaturas próximas a las de consigna interior de nuestros edificios, entre 15° y 20° en Madrid discurren por las redes enterradas de saneamiento urbano, que tiene un potencial energético distribuido e inexplorado de enorme valor. Aprovechando que la mayor fuente de eficiencia está sobre todo en manejar con habilidad la transformación de la energía, podemos plantearnos capturar esta energía gratuita y continua en el tiempo, y aplicarla a la climatización de los edificios. Para ello se cuenta con tecno-

logía de intercambio de alto rendimiento y perfectamente integrable en las redes de saneamiento urbano y sistemas eficientes de climatización a baja temperatura integrados en los edificios, que en interacción resuelven con enorme eficiencia nuestras necesidades.

Los dispositivos de intercambio se instalan en colectores existentes o se integran en los conductos de nuevos tramos de colectores con diámetros mínimos de 400 a 800 mm, caudal mínimo de 12 l/s, considerando que los intercambiadores tendrán una longitud de entre 10 y 200 m (Foto 1). El punto de recuperación de calor debe situarse a distancias cortas (200-300 m máximo) de los consumidores (administración, piscinas, instalaciones industriales, edificios de viviendas multifamiliares). La temperatura de las aguas residuales debe ser lo más constante posible en rangos de temperatura aproximados de 10-15 °C, o superiores. El rendimiento del intercambio de energía dependiendo de la cantidad de agua, la velocidad del agua, la pendiente en el colector, y la contaminación biológica y por áridos, oscila, para temperaturas del agua entre 10°C y 20°C, entre 2.5 kW/m² y 6. kW/m², m² de intercambiador de calor.

Como aproximación gráfica, 1 m³ de agua permite el intercambio de calor con ganancias de aproximadamente 2.3 kW / h de energía, lo que supone que para producir 1 kWh de calor, son necesarios 420 litros de aguas residuales, el deshecho diario de agua 3 a 4 personas en una ciudad española.

El potencial del recurso energético renovable, integrado en sistemas con bomba de calor agua-agua y sistemas inerciales radiantes para la calefacción y refrigeración de los edificios es enorme. Desde el punto de vista de la disponibilidad, el 10% de todos los edificios en Europa podría ser calentado por el calor de las aguas residuales. Esta tecnología (bivalente) reduce las emisiones de CO₂ en aproximadamente un 60% en comparación con combustibles de origen fósil en sistemas de calefacción convencionales.



[Fig. 3].- Modelos de implantación de sistemas de intercambio con aguas residuales de la red de alcantarillado. Intercambiador en el colector general y bombas de calor distribuidas o centralizadas.

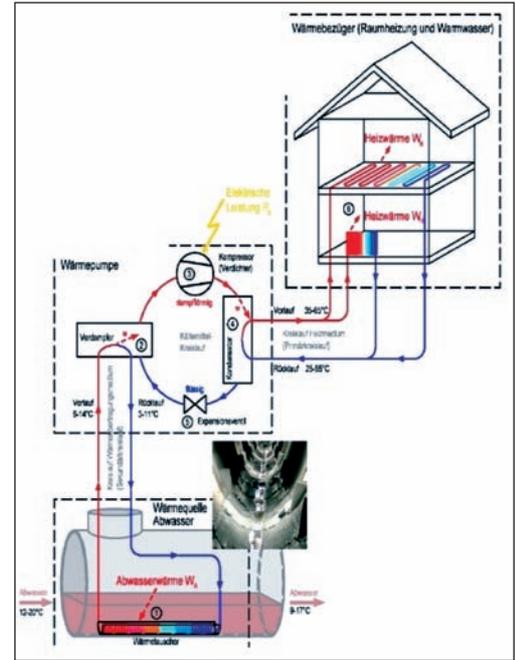
Cada proyecto es considerado, estudiado y calculado individualmente en lo que respecta a la fabricación, la instalación y rendimiento de los intercambiadores de calor instalados en la red de alcantarillado, existen distintas tecnologías de fabricación de los intercambiadores. Construidos en acero inoxidable 1.4571 deben cumplir muy exigentes requerimientos en materia de resistencia al lavado de alta presión, la propensión a la contaminación (biofilm), la accesibilidad y las posibilidades de mantenimiento para su uso en las alcantarillas. De ellos se espera resistencia a la corrosión, uniformidad y resistencia en la presión interior, resistencia mecánica a coacciones exteriores, comportamiento en flujo turbulento y una calidad de materiales y procesos de soldadura e instalación que garantice una vida útil superior a 40 años (Foto 2).

Hay una gran variedad de tipologías y geometrías en los colectores de saneamiento donde tenemos el potencial de intercambiar energía. Por eso se ha desarrollado un repertorio de diseños modulares que permiten soluciones individuales para las aplicaciones más variadas, instalados en colectores existentes o integrados en el hormigón de nuevas conducciones (Foto 3).

Decenas de sistemas de climatización alimentados mediante intercambio con aguas residuales, actuando mediante sistemas de bomba de calor geotérmica sobre sistemas radiantes, inerciales o termoactivos, que permiten aprovechar la masa de las estructuras de los edificios para acumular, disipar o absorber energía, se han ejecutado ya en Europa, Suiza, Alemania, Austria, y Francia para resolver la climatización de edificios públicos y terciarios y también para complejos residenciales (Fig. 4).

El rendimiento global de los sistemas de climatización termoactivos basados en el intercambio abierto de energía con las aguas de la red de saneamiento es considerablemente más alto que el de los sistemas convencionales (COP entre 3,5 y 5) y la reducción del impacto sobre el medio es enorme, tanto en su componente de emisiones como en el agotamiento de recursos (Fig. 5).

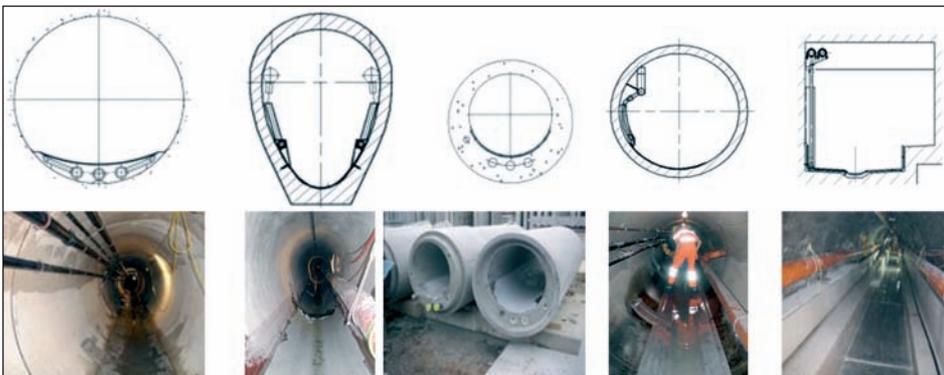
En la Península Ibérica que tiene excelentes condiciones para la eficiencia de este tipo de sistemas aplicados a refrigeración y calefacción, con doble rendimiento, el equipo de Eneres Kasag está trabajando ya en la aplicación de estos sistemas en la climatización de edificios públicos en contexto urbano, facultades universitarias en campus próximos a barrios re-



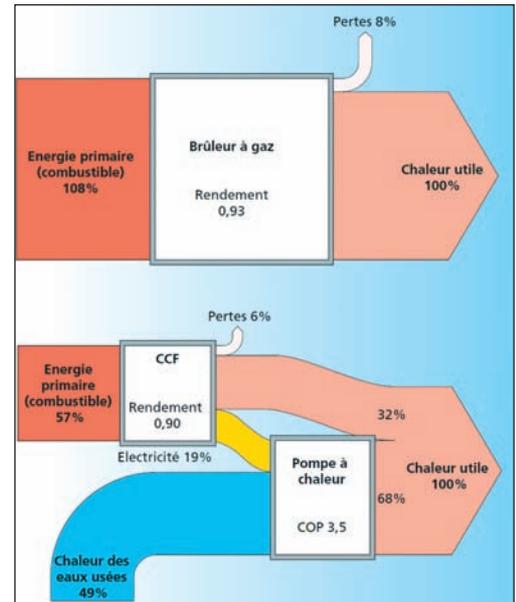
[Fig. 4].- Esquema de la instalación del sistema integrado de climatización mediante de intercambio con aguas residuales de la red de alcantarillado, bomba de calor y sistemas inerciales y radiantes para la calefacción y refrigeración.



[Foto 2].- Distintas técnicas de fabricación, soldadura lineal, soldadura y soplado, y soldadura por puntos en la fabricación de intercambiadores de acero inoxidable. Construcción modular de las secciones, y ensamblaje.



[Foto 3].- Variantes de intercambiadores adecuados a la tipología variada de los colectores de la red de alcantarillado.



[Figura 5].- Comparativo del rendimiento del sistema con el de un tipo con caldera de gas.

sidenciales, y procesos de rehabilitación en zonas consolidadas de la ciudad.

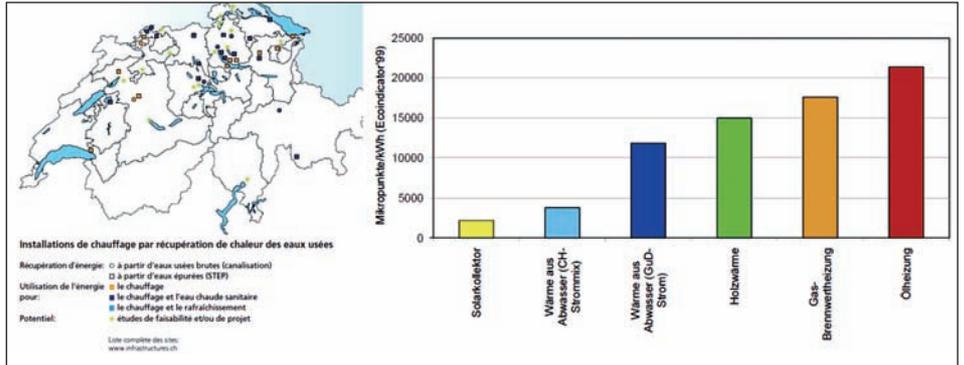
La Universidad de Aveiro, UA, en Portugal, pionera en este campo, está desarrollando con Eneres un amplio y resolutivo programa de eficiencia energética en los edificios de sus campus que desde estrictos parámetros de reducción de la demanda y eficiencia pasiva, y la utilización de sistemas inerciales de estructuras termoactivas para la climatización eficiente de los edificios, contempla la cobertura de la de-

Geotermia

manda energética resultante con técnicas y sistemas fundamentados en la transformación de la energía extraída o intercambiada con fuentes renovables o residuales.

La nueva facultad de Nanotecnología y Oceanografía de la UA combina el uso de cimentaciones termoactivas para el intercambio geotérmico con y el intercambio con la red de alcantarillado de la ciudad, que atraviesa el campus a 100 m del nuevo edificio. La demanda cubierta con este último recurso será de 100 Kw que completan en un edificio muy eficiente en su climatización la cobertura total de la demanda en interacción con el sistema geotérmico, la captación solar, la recuperación eficiente de energía en la ventilación y la transferencia de energía en el edificio para calefacción y refrigeración con forjados termoactivos. Esta actuación es un proyecto piloto dentro de un proyecto de toma de datos, análisis, y estudio de la capacidad de la red municipal de alcantarillado de la ciudad de Aveiro, ciudad de 60.000.- habitantes, para climatizar con este recurso gratuito un buen número de edificios de su casco urbano.

La evaluación del potencial energético de las redes de recogida de aguas residuales de



[Figura 6]. - Implantación de instalaciones de climatización por intercambio con la red de alcantarillado en Suiza y potencia instalada de intercambio con este recurso que supera la correspondiente a captación solar y se aproxima a la producida a partir de madera

nuestras ciudades y su aplicación a la climatización de edificios públicos y privados destinados a todo tipo de usos es hoy posible porque el desarrollo tecnológico y la técnica de aplicación están ampliamente desarrollados e implantados en países de nuestro entorno europeo con condiciones menos favorables que la península ibérica (Fig. 6).

Ha llegado el momento de acabar con el desperdicio de los recursos básicos y recurrir a los residuos energéticos como fuente valiosí-

sima, barata y abundante de energía primaria.

ENERES Sistemas Energéticos Sostenibles.
KASAG Langnau AG
 Apolonio Morales, 29 • 28036 Madrid
 ☎: 917 589 720
 E-mail: eneres@eneres.es
 Web: www.eneres.es

eneres: Aprovechamiento Integral y recuperación eficaz de la energía

Para eneres, el mejor recurso energético es el aprovechamiento de la energía que se desperdicia



Instalación de un intercambiador en un colector de aguas residuales



Intercambiadores de acero inoxidable para aguas fecales

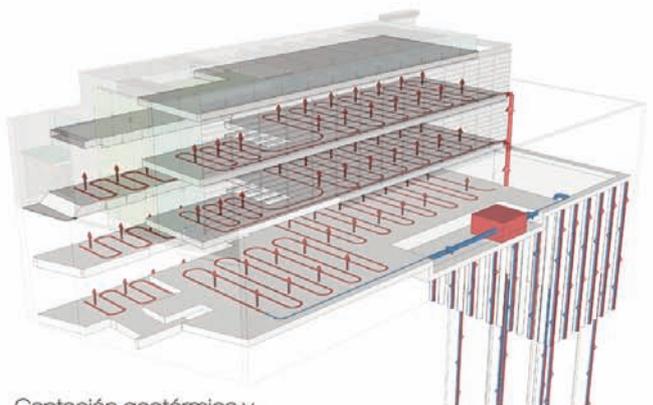


Ejecución de losas termoactivas



Ejecución de cimentaciones termoactivas

ENERES es una empresa especializada en el ahorro energético en la edificación, en sistemas geotérmicos y termoactivos de intercambio energético y en la recuperación y uso eficaz de la energía de fuentes residuales.



Captación geotérmica y estructuras termoactivas para refrigeración y calefacción

Experiencias prácticas relativas al análisis del *Test de Respuesta Geotérmica*

La realización de los *tests de respuesta geotérmica* se ha convertido en un método estándar para investigar el subsuelo a la hora de planificar captaciones geotérmicas de tamaño mediano y grande. Se introduce una carga térmica definida en una sonda geotérmica y se registra la evolución de la temperatura del medio portador del calor a la entrada y salida de la sonda a lo largo del tiempo. Esta modificación de la temperatura permite conocer los parámetros térmicos del subsuelo necesarios para el dimensionamiento de un campo de sondas geotérmicas: coeficiente de conductividad específica del calor, resistencia térmica en la perforación y temperatura del suelo sin injerencia. En este artículo se exponen algunas experiencias prácticas relativas al análisis del test de respuesta geotérmica sobre la base de ejemplos.

Palabras clave: ADAPTACIÓN PARAMÉTRICA, ANÁLISIS SECUENCIAL, PERFILES DE TEMPERATURA, TEST DE RESPUESTA GEOTÉRMICA.

Alfredo FERNÁNDEZ⁽¹⁾, Lucía NOVELLE⁽¹⁾, y Marc SAUER⁽²⁾.

(1) INGEO Investigación Geotérmica.
(2) UBeG Umwelt Baugrund Geothermie Geotechnik.

La interpretación de los datos obtenidos en los *Test de Respuesta Geotérmica (TRG)*, a menudo permite llegar a deducciones sobre otros factores. La comprobación cualitativa de la curva de temperaturas, así como el análisis por etapas (secuencial) del ensayo permiten llegar a descubrir la influencia de corrientes de agua subterránea en la realización del ensayo.

La resistencia térmica en la perforación, así como el análisis cualitativo de los perfiles de temperatura que se producen en la sonda de prueba, antes y después del propio *test de respuesta*, permiten valorar la calidad del relleno del espacio anular.

Más allá del registro de los perfiles de temperatura, también puede obtenerse información tanto sobre la profundidad de la sonda, como (en condiciones apropiadas) sobre la profundidad del entubado de seguridad empleado, esto es, mayores diferencias en el diámetro de la perforación.

Mediciones de temperatura

Para la medición de las temperaturas en una sonda geotérmica pueden utilizarse sondas de temperatura, sondas de temperatura con cableado (por ej., *pt100*), y registradores de datos de temperatura y presión (*Fig. 1*).

Las sondas de temperatura y las de cableado tienen la ventaja de que los valores medidos se pueden leer directamente en la cabeza de la sonda y la medición, debido precisamente a la reducida capacidad de los aparatos de medición, puede llevarse a cabo claramente con mayor rapidez. Frente a ello existe la desventaja de que los sensores a menudo se pueden colocar fácilmente en la sonda, pero por el contrario, especialmente cuando la sonda está muy torcida, ondulada, serpenteada, sólo se pueden extraer con mucha dificultad, debido a la resistencia de rozamiento.

Las sondas de temperatura/ presión (esto es, *registradores*) pueden colocarse en cordones muy finos pero resistentes y, por lo general, se recogen sin problemas (en el caso de, por ej., reducciones del área a consecuencia de aplastamientos ya no pueden ser ni siquiera colocados). A causa de la alta autocapacidad térmica y de la ausencia de posibilidades de control, si se ha obtenido una medición estable a una determinada profundidad, el tiempo invertido es claramente mayor.

Frente a las mediciones con sensores y registradores de temperatura, las sondas de temperatura/presión, debido a la medición automática y el registro de presión (esto es, profundidad), temperatura y tiempo suponen una mayor *comodidad a la hora de medir* y se pueden emplear, también a profundidades mayores de hasta 300 m y más.

Determinación de la temperatura del suelo sin injerencia térmica

Para el cálculo de la configuración apropiada del campo de sondas geotérmicas (cálculo de dimensionamiento) a menudo la temperatura del suelo intacto es tan importante como la conductividad del subsuelo. Es aconsejable

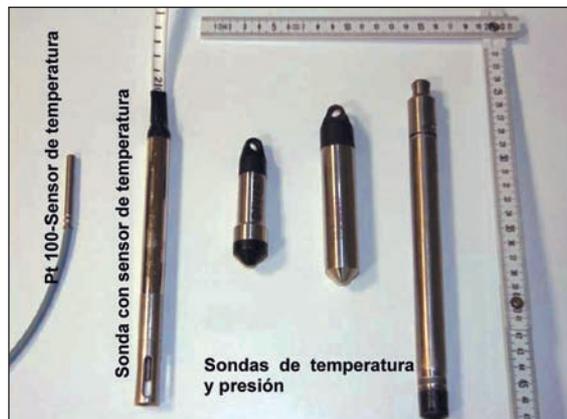
deducir este tamaño del perfil de temperatura tomado de un test de respuesta. Además, la medición es más precisa que si se toma de la curva de temperaturas de un *TRG* antes de la propia fase de calentamiento, puesto que la circulación del medio portador en la sonda geotérmica supone ya una perturbación claramente mayor de las condiciones naturales que la introducción de una cabeza sensora.

Además, el aparato empleado para el test de respuesta modifica, por su calentamiento natural (o por su enfriamiento natural, según la estación del año) la temperatura antes y durante la medición, dando lugar a la introducción de calor por la pérdida de fricción de la bomba de circulación (del orden de 100 – 200 W).

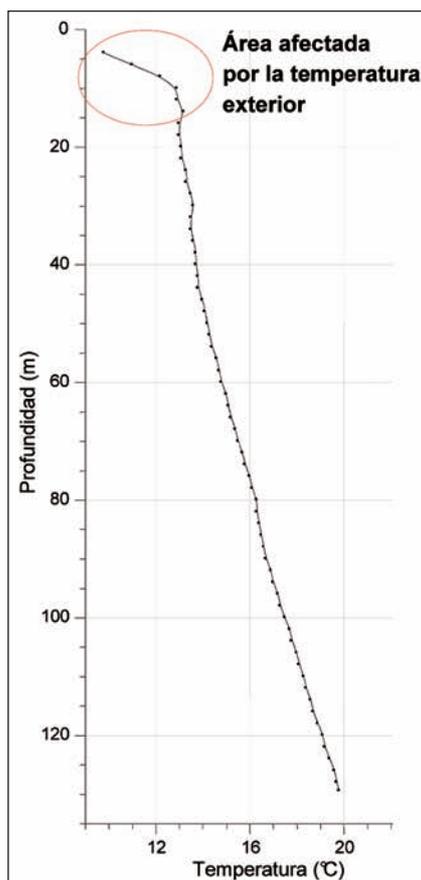
Estas desventajas pueden sortearse si las mediciones se realizan exclusivamente a la salida (de la sonda geotérmica) en el primer cambio de agua. Ahora bien, aquí se ha de realizar un esfuerzo relativamente más elevado de medición. La medición debe realizarse a lo largo de un espacio temporal mayor y con sensores de temperatura muy precisos. En muchas ocasiones no tiene lugar todavía en el primer ciclo una circulación estable ni una completa purga de aire del sistema, de forma que estas mediciones no pueden llevarse a cabo con la suficiente exactitud.

En la práctica, este método apenas se emplea por dicho motivo. Además, no puede evitarse que se produzca un intercambio térmico entre el agua procedente de la profundidad mayor de la sonda geotérmica y las zonas más próximas a la superficie.

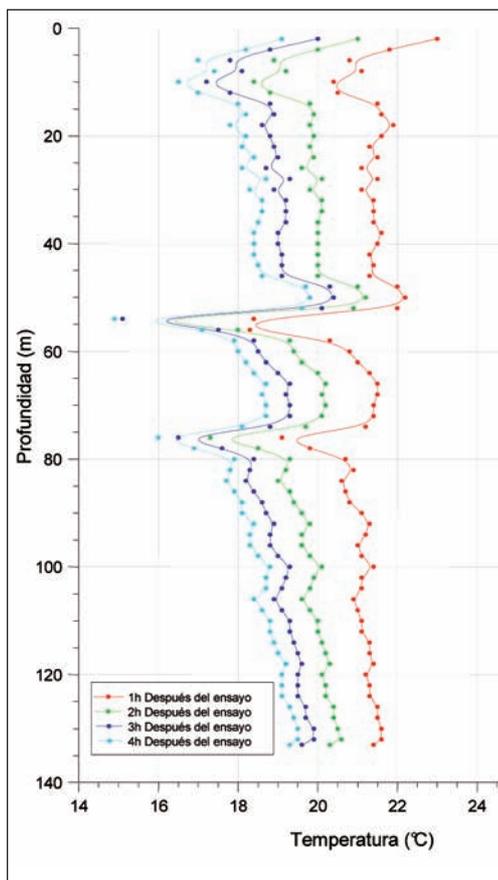
Del perfil de temperatura inicial (*Fig. 2*), así como del gradiente geotérmico que de ello se deriva se puede obtener un cálculo aproximado de la conductividad térmica del subsuelo conforme a la ecuación del flujo geotérmico. Lamentablemente, a menudo los modelos que se



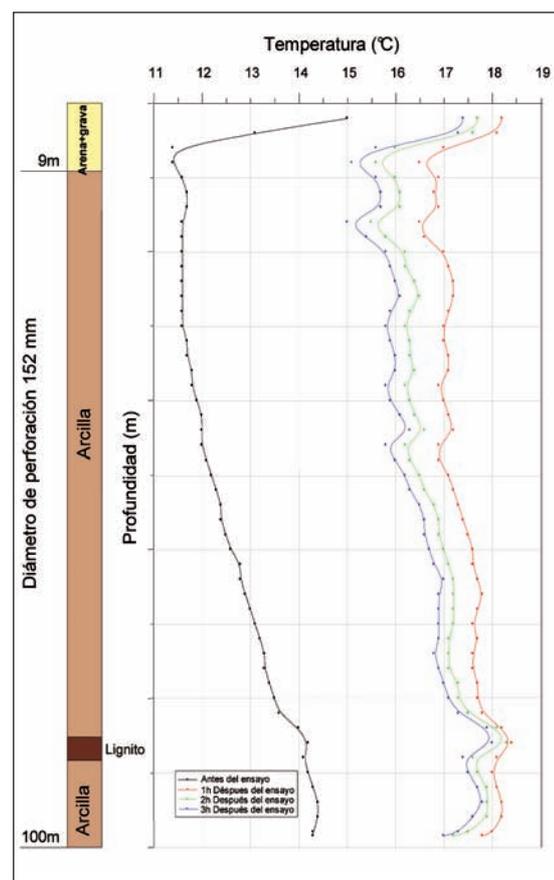
[Figura 1].- Aparatos de medición de temperatura



[Figura 2].- Perfil de temperatura en profundidad antes de la ejecución del TRG.



[Figura 3].- Perfiles de temperatura con influencia de corriente de agua subterránea.



[Figura 4].- Perfiles de temperatura con cambio de capas.

encuentran a disposición sobre el flujo térmico no son muy exactos o se refieren a cálculos que se basan en valores aproximados de la conductividad térmica, lo que evidentemente no puede llevar a un resultado correcto.

Comportamiento ante el enfriamiento

Si se toman a determinados intervalos temporales los perfiles de temperatura de profundidad en la sonda geotérmica tras finalizar la fase de calentamiento, puede determinarse el comportamiento ante el enfriamiento por medio de las profundidades de sonda. Se pueden extraer conclusiones relativas a:

- Influencia del agua subterránea.
- Cambio de la conductividad (cambio de facies).
- Conclusiones sobre el material de relleno.
- Diámetro de perforación (cualitativo).
- Profundidades de sondeo.

En la **Fig. 3** se representan cuatro perfiles de temperatura que se obtuvieron a una distancia temporal de 1, 2, 3 y 4 horas tras finalizar la fase de calentamiento en la sonda geotérmica. La interpretación cualitativa muestra un enfriamiento claramente más rápido en el intervalo de profundidad de entre aproximadamente 55 m y 75 m. Aquí tiene lugar una pér-

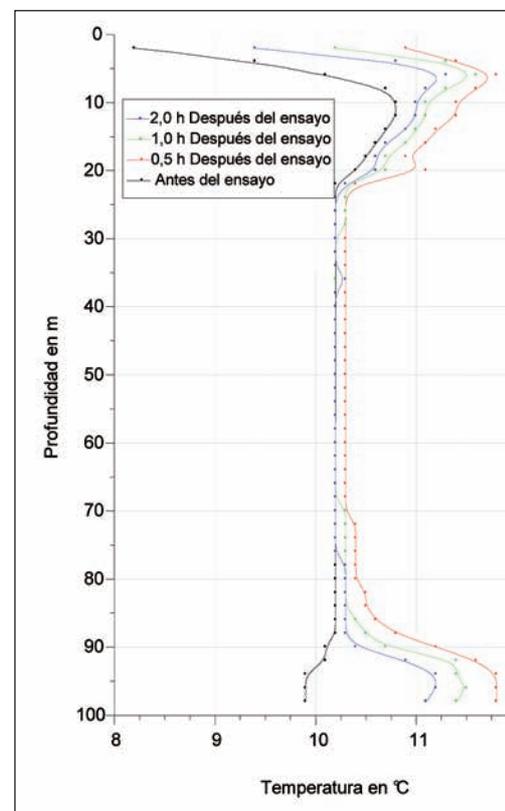
didada más rápida del calor por la influencia de una corriente de agua subterránea.

En la **Fig. 4** los perfiles de temperatura en las zonas inferiores muestran un enfriamiento claramente más lento. Esta observación se relaciona con la aparición de una capa de lignito de inferior conductividad térmica.

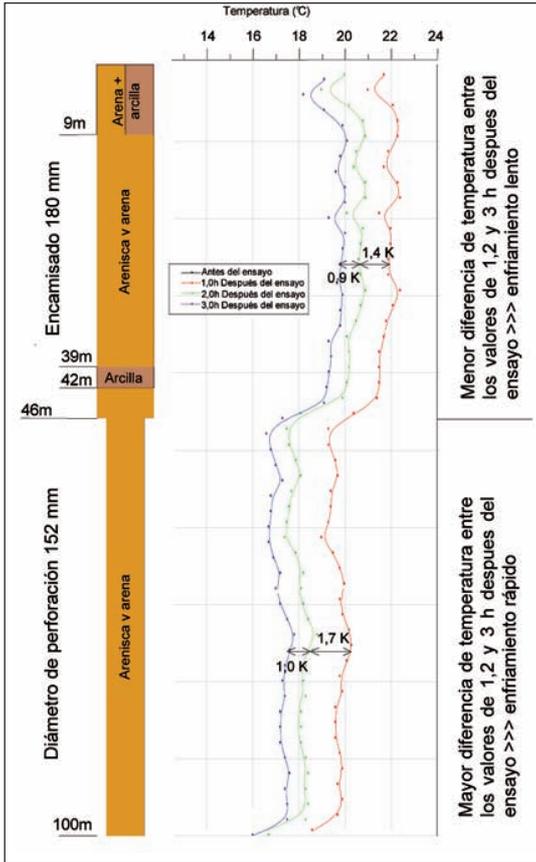
Los perfiles de temperatura representados en la **Fig. 5**, tras finalizar la fase de calentamiento muestran a una profundidad de entre aproximadamente 20 m y 90 m un enfriamiento prácticamente inmediato de la sonda a la temperatura inicial. Ésta rápida pérdida de calor sólo es posible cuando la corriente de agua subterránea está en contacto directo con la sonda geotérmica. A la vista de los perfiles también puede deducirse que como mínimo a esa profundidad no se realizó adecuadamente el relleno del espacio anular.

Los perfiles de temperatura recogidos en la **Fig. 6** muestran a la profundidad aproximada de 46 m un evidente salto de temperatura. Por encima de esta profundidad, una diferencia de temperatura relativamente inferior entre las mediciones 1, 2 y 3 tras la finalización del ensayo muestra un enfriamiento claramente más lento que en la zona bajo el salto de temperatura.

Esto se relaciona con la profundidad final del entubado de protección (46 m) y el resultado del TRG, según el cual la roca muestra una



[Figura 5].- Contacto directo de la corriente de agua subterránea con la sonda geotérmica.



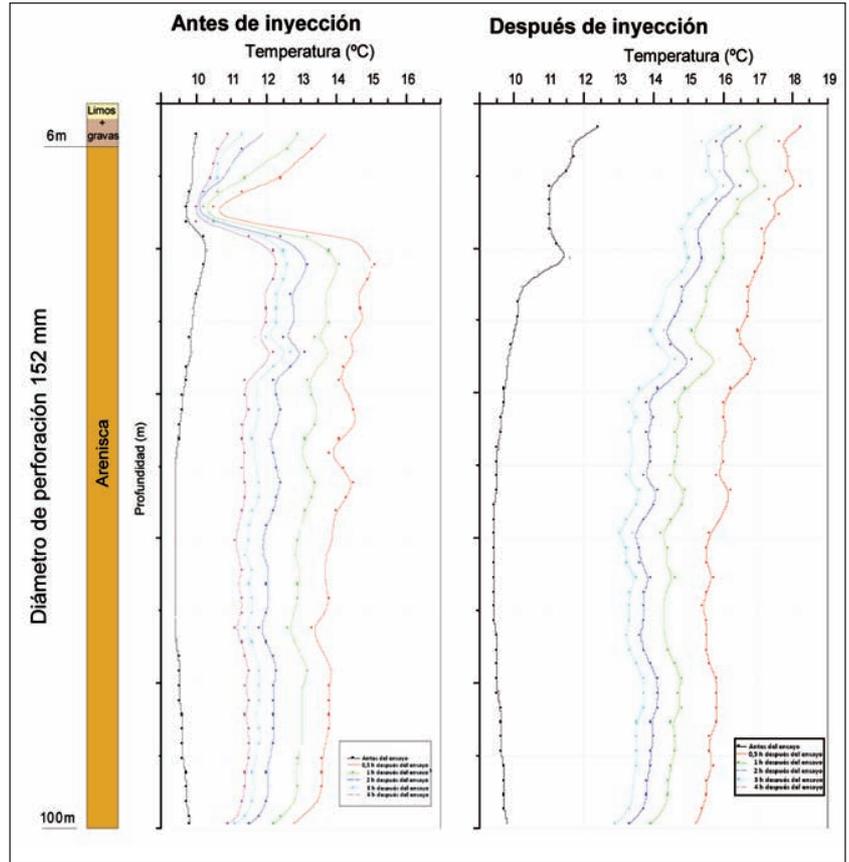
■ [Figura 6].- Distintos diámetros de perforación.

conductividad térmica aproximada de 2,4 W/(m,K). Se empleó como material de relleno un producto térmicamente mejorado con una conductividad térmica aproximada de 2,0 W/(m,K), la mayor conductividad térmica de la roca se muestra claramente por el enfriamiento más rápido en la parte inferior de la sonda con el diámetro que aparece en la Fig. 6.

Ejemplo de entrada de agua en el espacio anular de la sonda

En una sonda geotérmica de un campo de sondas se observaron salidas de agua en la cabeza de la sonda. El agua penetra en el espacio anular de la sonda y sube hacia arriba. Para investigar la situación se llevó a cabo un test de respuesta. El objetivo no era investigar la conductividad del subsuelo, sino calentar la sonda geotérmica para poder determinar a raíz de ello el proceso de enfriamiento.

En la Fig. 7 (a la izquierda) se recogen los correspondientes perfiles de temperatura. Es fácilmente reconocible el rápido enfriamiento en la zona en torno a los 15 m de profundidad. Tras haber podido localizar de esta forma la zona de entrada de agua, se abrieron a distancias inferiores (0,5 -1,0 m) en torno a la sonda en total 4 sondeos para realizar un sellado hasta debajo de esta profundidad y se inyectó una suspensión muy fluida de sellado para impedir la entrada de agua.



■ [Figura 7].- Ejemplo de inyección ulterior de una sonda geotérmica.

A continuación se repitió el TRG con registro de los perfiles de temperatura. En la Fig. 7 (a la derecha), se puede ver que tras la inyección el enfriamiento tiene lugar a las profundidades de la sonda de forma prácticamente similar, sin que entre ya agua a la profundidad en torno a los 15 m en el espacio anular de la sonda.

Ejemplo de sonda coaxial

En la Fig. 8 se recoge el gradiente de temperaturas de un TRG llevado a cabo en una sonda coaxial. A lo largo del ensayo aumenta la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida. Puesto que al mismo tiempo se reduce el flujo en proporción a la diferencia de temperaturas, se mantiene constante la potencia calorífica. Pese al desacostumbrado gradiente de temperaturas, el ensayo pudo ser evaluado (empleando los valores medios entre ida y retorno), obteniéndose un resultado sólido con el análisis secuencial del test.

Entonces hubo de aclararse el motivo del poco habitual transcurso del ensayo. La comprobación de la bomba de circulación no mostró ningún defecto. La explicación más probable es que el tubo interior de sonda, debido al fuerte calentamiento de unos 25 K ha experimentado un aumento de longitud de unos 0,5 m. Puesto que el tubo interior, sólo es, en comparación unos 0,3 m más corto que el exterior, el aumento de longitud produjo un incre-

mento de la resistencia hidráulica y, por ello, una reducción del flujo. En consecuencia las otras sondas geotérmicas se dotaron de tubos interiores más cortos.

La instalación de sondas geotérmicas estaba (está) prevista para un funcionamiento refrigerante por medio de una bomba reversible de calor, esto es, también se ha de contar con elevadas diferencias de temperatura en el funcionamiento posterior de la instalación. Si no se hubiera corregido la longitud del tubo interior, con seguridad hubieran surgido problemas en la operación con el refrigerante, debido a la imprevista pérdida de presión.

En la misma sonda se puede observar con los perfiles de temperatura, la modificación relativa del diámetro de perforación después de la ejecución del ensayo (ver Fig. 9).

La conductividad térmica de la roca se calculó en 1,4 W/(m,K). El relleno del espacio anular de la sonda se realizó con material mejorado térmicamente con una conductividad térmica claramente más elevada de unos 2,0 W/(m,K). Esto se muestra en el enfriamiento claramente más rápido a la profundidad de aproximadamente 50 m, con un mayor diámetro de perforación. Debido a la más elevada conductividad térmica del material de inyección se puede difundir más calor en dirección radial que en la zona que se encuentra

Especial Geotermia



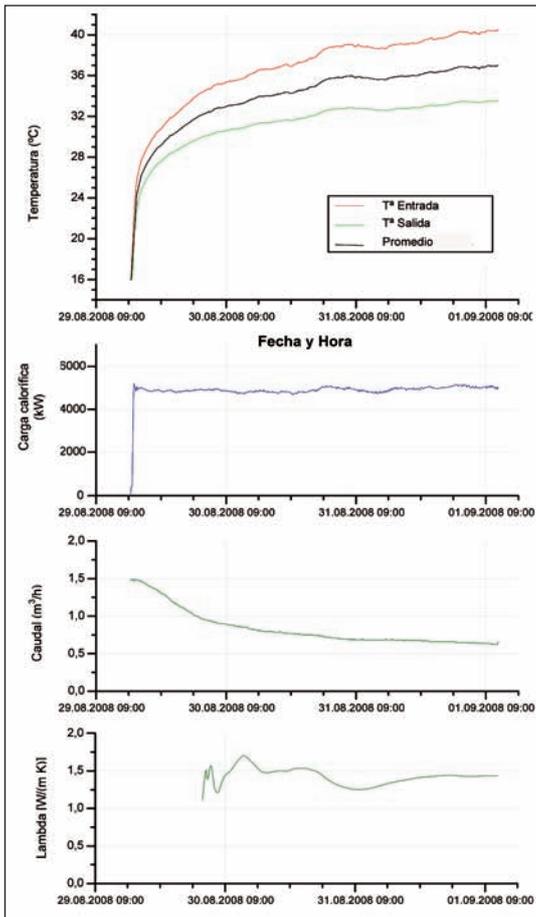
Siempre un paso
por delante

**Suministros
Técnicos de
Perforación**

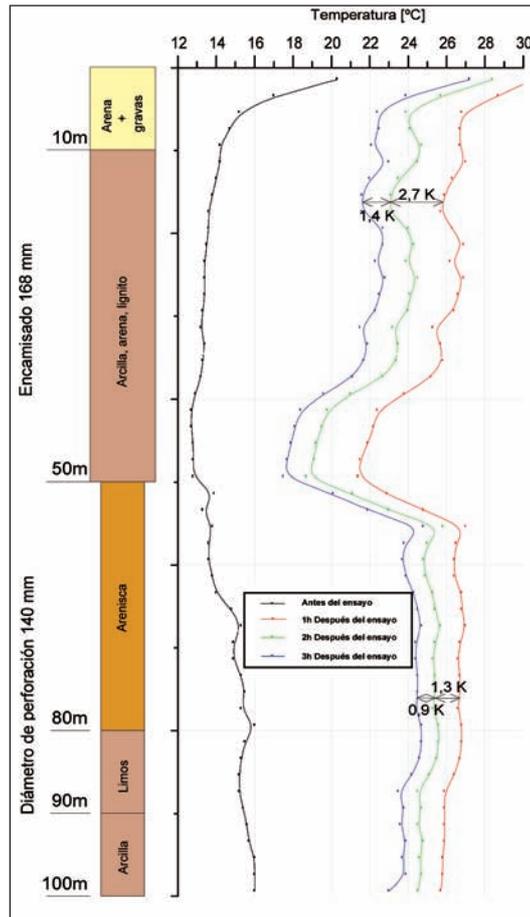
Más de 10 años a su servicio



- Martillos y cabezas de rotación hidráulicos.
- Accesorios de perforación Sistema O.D.
- Equipos de perforación para cimentaciones.
- Equipos para Geotermia.
- Útiles de perforación de roca.
- Equipos de inyección y jet grouting.
- Plantas de cemento.
- Martillos en fondo y tallantes.
- Bombas de agua para barrido.
- Sistemas especiales de perforación.
- Servicio de Asistencia Técnica.
- Recambios originales.
- Alquiler y venta de maquinaria.



■ [Figura 8].- TRG en una sonda coaxial.



■ [Fig. 9].- Perfiles de temperatura en sondas coaxiales.

debajo, con menor revestimiento con material, con buena conductividad.

Con ayuda de los perfiles de temperatura tras el ensayo se puede realizar también un cálculo relativo de la conductividad térmica del material de inyección y de la roca. En este caso la conductividad térmica del material de inyección es más elevada que la de la roca alrededor. En los perfiles recogidos en la Fig. 6 se muestra el caso contrario.

Conclusión

El conocimiento y la experiencia obtenidos por INGEO tras más de 60 análisis de ensayos realizados en los últimos 5 años muestran que se pueden conseguir, en circunstancias apropiadas, con los resultados de la medición de un test de respuesta geotérmica y en combinación con el registro de los perfiles de temperatura en profundidad antes y después de la realización del ensayo todo un conjunto de otras informaciones sobre el subsuelo y la sonda geotérmica probada.

El análisis secuencial del ensayo permite evaluar si existe influencia de las corrientes de agua subterránea en el período temporal del ensayo y si el período de ensayo fue suficientemente largo, así como si se pudieron compensar las perturbaciones eventualmente producidas (oscilaciones de tensión, irradiación

solar, etc.) con un período largo.

En caso de que el ensayo haya sufrido perturbaciones o se haya visto afectada por agua subterránea, se puede obtener una evaluación con una variación paramétrica, incluso cuando el método de la fuente lineal no puede ofrecer un resultado sólido.

La determinación de la temperatura del suelo sin injerencia mediante el registro de perfiles de temperatura antes de la ejecución del ensayo presenta ventajas decisivas frente a su investigación mediante el test de respuesta (sólo bomba de circulación). La influencia sobre la temperatura por el propio aparato de medición es muy inferior y es posible obtener otros parámetros, como el gradiente geotérmico, eventualmente el cálculo de la conductividad térmica o del flujo geotérmico.

El registro de los perfiles de temperatura tras el ensayo puede ofrecer, en cualquier caso, indicios valiosos de la influencia del agua subterránea. Además, se puede analizar la calidad del relleno y, con diámetros distintos de perforación, la conductividad térmica relativa del material de inyección en comparación con la roca.

Con una diferencia suficientemente grande de la conductividad térmica del material de relleno y de la roca se puede investigar con los perfiles de temperatura la profundidad del en-

tubado de protección empleado, así como diferencias significativas del diámetro de perforación.

La aparición de un enfriamiento en la base es un indicio seguro de que con la sonda de temperatura se ha alcanzado la base de la sonda geotérmica, de forma que se puede comprobar con seguridad la profundidad de sondeo.

Bibliografía

- FERNANDEZ, A., NOVELLE, L., CAPARRINI, N., ORCHE, E. *Investigación geotérmica y geofísica de baja entalpía en el área de Galicia*. Libro de actas I Congreso de energía geotérmica en la edificación y la industria, Geoener, Madrid octubre 2008.
- FERNANDEZ, A., NOVELLE, L. *Instalaciones con bomba de calor geotérmica en el centro y norte de España. Parámetros de influencia en el diseño de captación geotérmica*. Libro de actas I Congreso de energía geotérmica en la edificación y la industria, Geoener, Madrid octubre 2008.
- FERNANDEZ, A., GIEB, C., MANDS, E., NOVELLE, L., SANNER, B. *Influencia del tipo de relleno del sondeo en la eficiencia del campo de captación*. Libro de actas II Congreso de energía geotérmica en la edificación y la industria, Geoener, Madrid marzo 2010.

- SAUER, M., MANDS, E., SANNER, B. & GRUNDMANN, E. *Wirtschaftliche Aspekte beim Einsatz von Geothermal-Response-Tests, Tagungsband, Der Geothermiekongress 2007 Bochum (2007)*.
- SAUER, M., MANDS, E., SANNER, B. & GRUNDMANN, E. (2008). *Thermal Response Tests in Europa – von Irland bis Griechenland, Tagungsband, Der Geothermiekongress 2008 Karlsruhe*.
- MANDS, E., SAUER, M., GRUNDMANN, E., LANGGUTH, K., SANNER, B. & GÄBLER, W. (2008). *Stand der technischen Entwicklung oberflächennaher Geothermie in Deutschland, bbr Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau, 59, 12/08, Bonn*.



INGEO - Investigación Geotérmica
Parque Tecnológico de Galicia
32901 San Ciprián de Viñas (Orense)
☎: 988 368 193 • Fax: 988 368 149.
E-mail: ingeo@ingeo.es
Web: www.ingeo.es



Pilotes energéticos *Raugeo PE-Xa*. Sostenibilidad y seguridad

Generalmente, se deben emplear pilotes taladrantes para la cimentación que permitan sostener el peso de la edificación de forma estable. Cuando se integran tubos para la captación de la energía geotérmica en estos pilotes, se habla de *pilotes energéticos* o *cimentaciones termoactivas*.

La instalación de los tubos *Raugeo PE-Xa* se realiza de forma vertical, integrándolos en los cimientos del edificio o incluso en los muros de contención o perimetrales. La energía obtenida a través de los pilotes energéticos se utiliza tanto para la calefacción del interior del edificio, así como para entregar a su vez calor a terreno para el refrescamiento. De esta manera conseguimos una edificación sostenible y energéticamente eficiente con un mínimo de costes adicionales.

Los tubos que se utilizan para este sistema son los tubos colectores *Raugeo*, excelentes para su uso en los pilotes energéticos, ya que están realizados en *PE-Xa* (polietileno reticulado de alta densidad). Se trata de un material de alta resistencia frente a muecas, estrías y propagación de fisuras por efecto de la tensión. Una característica primordial puesto que

Rehau, empresa líder en geotermia con la mayor gama de soluciones para aplicaciones con energías renovables, presenta uno de sus recursos más eficientes para la obtención de energía del subsuelo: los *pilotes energéticos*.

se entierra y entra en contacto con piedras y zonas erosivas. Disponen de una larga vida útil y pueden soportar temperaturas de hasta 95° C sin deteriorarse. La capa barrera contra la difusión del oxígeno integrada en el tubo previene posibles corrosiones en los elementos metálicos de la maquinaria del sistema.

Además, los tubos *Raugeo PE-Xa* son mucho más flexibles en comparación con otros materiales poliméricos y de fácil colocación en obra, incluso con una temperatura ambiente bajo 0 sin necesidad de adoptar medidas especiales. Su instalación es sencilla gracias a que los tubos admiten un radio de curvatura muy reducido.

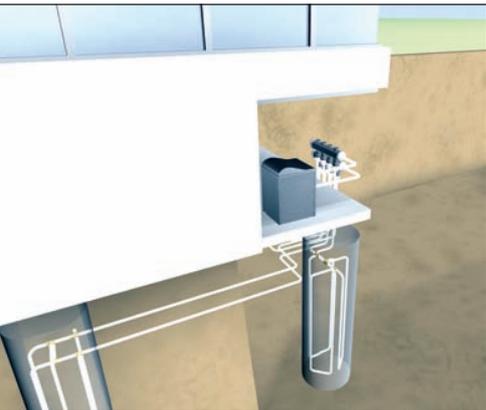
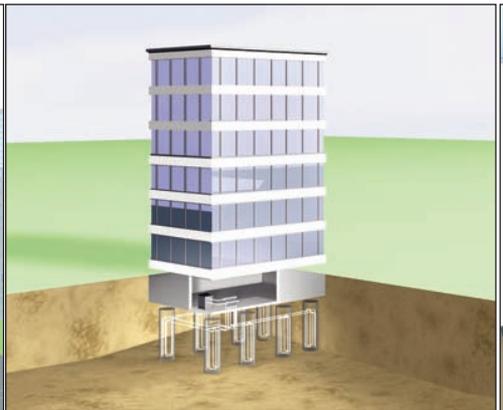
Otro punto que cabe destacar es la técnica de unión mediante casquillo corredizo *Rehau*. Es rápida, sencilla y segura con la garantía de unos 500.000.000 de instalaciones en todo el mundo sin fisuras.

La unión entre los tubos debe ser segura y fiable para este tipo de instalaciones, puesto que si hubiera algún tipo de fallo sería muy difícil y costoso de solucionar, ya que los tubos van integrados en los pilotes de cimentación del edificio.

Rehau, apuesta por las energías renovables y destaca los pilotes energéticos como un sistema seguro para la captación de energía del subsuelo. ○



INDUSTRIAS REHAU, S.A.
Miguel Servet, 25 • Pol. Ind. Camí Ral
08850 Gavá (Barcelona)
☎: 936 353 500 • Fax: 936 353 352
✉: barcelona@rehau.com
Web: www.rehau.com



Atlas Copco

XA-27 nuevo concepto de compresor compacto y transportable

Atlas Copco ha introducido un nuevo concepto de compresor de aire con el modelo **XAS 27** (27 l/s, 7 bar). El nuevo modelo es el primer compresor de la gama transportable accionado por motor de gasolina. Esta unidad, que tiene las dimensiones más compactas de la gama de compresores transportables, ofrece una versatilidad excepcional.

El nuevo **XAS 27** tiene un robusto y fiable motor *Honda* que cumple con creces las vigentes normativas sobre emisiones de contaminantes. Tiene transmisión por correa con un sistema de carril de tensado. El motor acciona el nuevo elemento de compresión *C55* de *Atlas Copco*. Este modelo también es el primer compresor con motor de gasolina de toda la gama de compresores transportables de *Atlas Copco*.

Tanto si se usa para accionar martillos neumáticos, cinceladores o pequeñas herramientas manuales, este compresor es ideal para proyectos de demolición, acabado y renovación.

El **XAS 27** es compacto y muy ágil. Con su chasis y un peso de poco más de 200 kg, se puede transportar allá donde se necesite sin necesidad de pesados equipos de elevación. Como resultado, se puede maniobrar fácilmente y posi-

cionar en la mejor posición de trabajo. También es lo suficientemente pequeño como para pasar por puertas estándar o un ascensor.

Su manejo y mantenimiento son muy sencillos. Además, ha adoptado el exitoso concepto de polietileno de la gama *HardHat™*, junto con acero zincado, para ofrecer la máxima protección. El depósito de combustible forma parte de la carrocería e incorpora un eficiente ventilador eléctrico para refrigeración. Con la carrocería abierta, el mantenimiento plantea pocos problemas. Se puede acceder fácilmente al separador de aire/aceite, al filtro roscado y a todos los demás filtros, lo que contribuye a reducir los costes de servicio.

También hay una versión "trole" para las empresas que necesitan un compresor incluso más simple y compacto. El **XAS 27** ofrece un valor excepcional combinado con potencia, fiabilidad y durabilidad. Todo lo que usted necesita para hacer su trabajo.

ATLAS COPCO, S.A.E.
(División Compresores)
Avda. José Gárate, 3-P.I.
28823 Coslada (Madrid)
☎: 916 279 100 • Fax: 916 713 116
E-mail: ac.spain@es.atlascopco.com
Web: www.atlascopco.es



Con el XA-27, Atlas Copco introduce un nuevo concepto de compresor de aire extraordinariamente compacto y ágil.

Caterpillar - Demlone

presentan la nueva máquina para demolición DEM50



La nueva máquina de demolición para grandes alturas DEM50 permite trabajar a una altura ajustable entre 18, 21 y 23 m.

La máquina de demolición **DEM 50** es el primer fruto de la estrecha colaboración entre *Caterpillar* y *Demlone*, una filial del grupo francés *Vensys*, especializado en equipos para demoliciones. Partiendo de la excavadora hidráulica de demolición **Caterpillar 336D L**, *Demlone* fabrica las estructuras delanteras y ensambla la máquina completa. Utilizando el tren de rodaje de la robusta excavadora **Cat® 336D**, equipada con bastidores superiores reforzados y concebidos para realizar tareas pesadas, la máquina **DEM50** permite trabajar a una altura de 18, 21 ó 23 m mediante un sistema modular de pluma y brazo. El equipo de demolición consta de la sección principal de la pluma, las extensiones de la pluma (de 3 y 5 m) y un brazo que permiten a los contratistas seleccionar rápidamente entre las tres alturas de trabajo.

La máquina también está equipada con un acoplador hidráulico rápido para la base de la pluma en el que los pasadores inferiores se controlan hidráulicamente desde la cabina. Todas las mangueras hidráulicas situadas entre la base de la pluma y su estructura principal están equipadas con conexiones que se pueden desacoplar rápidamente, de modo que la configuración de la pluma pue-

de modificarse en 30 minutos (hasta ahora se tardaban 3-4 h).

También puede proporcionarse una pluma de retroexcavadora de alcance estándar que utiliza el mismo sistema de ajuste rápido de pasadores y ofrece una mayor productividad a los clientes, ya que permite realizar una mayor variedad de tareas.

El uso de aceros de alto límite elástico *Weldox 700* en la construcción del equipo delantero, sumado a la presencia de un contrapeso para trabajos pesados, permiten a la **DEM50** trabajar con herramientas de hasta 3.000 kilos de peso. Asimismo, hay una amplia variedad de herramientas de trabajo *Cat* disponibles, incluyendo multiprocesadores, pinzas de demolición y reciclaje, cizallas y cucharones.

A través de una pantalla táctil en la cabina, el sistema informa al usuario sobre la posición y las capacidades de la máquina. Si la máquina se utiliza fuera de la zona de trabajo segura, el sistema activa una alarma.

BARLOWORLD FINANZAUTO ⓘ
Avda. de Madrid, 43
28500 Arganda del Rey (Madrid)
☎: 918 740 000 • Fax: 918 720 522
Web: www.barloworld.finanzauto.es

Trimble

Nueva versión del software **HCE** para construcción y carreteras

Trimble ha presentado recientemente el *Trimble Business Center – HCE*, una nueva versión del software de oficina para gestión y preparación de datos y estimación de la cantidad de materiales necesarios para construcción civil y de carreteras. La versión 2.2 de **HCE** incluye avances que facilitan y hacen más eficiente el uso, la implementación y el aprendizaje del software.

Este programa desarrollado por Trimble es una plataforma de software utilizada por contratistas para preparar datos y diseños para proyectos de construcción de estructuras pesadas y autopistas. Además, el programa gestiona los datos de instrumentos de guiado de maquinaria y obras, transmite datos desde y hacia controladores y personal sobre el terreno y rastrea y analiza la actividad y la productividad de la obra.

Los contratistas pueden simplificar la interfaz de usuario cambiando las distribuciones de menús y barras de herramientas para mayor facilidad y eficiencia de uso y navegación del programa. Las distribuciones existentes – *Fielddata*, *Datos de Campo*, *Preparación de Datos*, *Calculos y Estimaciones*, *Construcción*, *Construcción mas Topografía* - están diseñadas para complementar las tareas de una organización. Además, las guías de flujo de trabajo mejoradas reducen el tiempo de aprendizaje necesario para usar el software, ya que orientan al usuario a través de los flujos de trabajo convencionales, que incluyen todos los pasos y comandos necesarios en el orden necesario.

La transición a **Business Center – HCE** es ahora más fácil, con compatibilidad para tipos de datos y archivos utilizados por otros productos de Trimble. La nueva versión de HCE admite los datos de los sistemas de control GCS900, los sistemas de control Cat® *Accugrade™* y el software de control de obra SCS900 de Trimble®. La versión 2.2 también permite importar y exportar datos de los archivos *Terramodel®* de Trimble, y es compatible con los datos de *SiteVision® Office* y *Cat AccuGrade Office* de Trimble. Estas mejoras de compatibilidad permiten a los usuarios una incorporación eficiente de **Business Center – HCE**, con un

aumento de productividad durante la implementación.



El software para oficina Business Center – HCE Versión 2.2 para construcción civil y de carreteras ofrece mayor integración y capacidad de uso.



SITECH, S.L.

Bronce, 29 - P.I. Las Monjas • 28500 Arganda del Rey (Madrid)

Tel: 918 729 792 • Fax: 918 729 703

Web: www.sitech.es

Blast Consult

Dispositivo de seguridad **Janus** para personas y equipos en minería y O.P.

Janus Technologies, rama de Blast Consult especializada en I+D en minería y voladuras, junto con la empresa Financiera y Minera del grupo Italcementi presentaron el pasado 28 de enero en la cantera de la cementera de *La Araña* (Cala del Moral, Málaga), su última creación. Se trata de un dispositivo destinado a salvar vidas y proteger equipos en minería, obra pública y operaciones industriales con maquinaria pesada.

Estudiando la causa principal de accidentes en minería, producidos por golpes y atropellos de maquinaria pesada a personas y/o vehículos ligeros, Janus ha desarrollado una aplicación innovadora de las últimas tecnologías disponibles. A través de un detector de personas y equipos, se informa al operario de dumper, pala cargadora, excavadora y otros equipos pesados de la presencia de operarios a su alrededor. Diferentes iconos informan en una pantalla si se en-



cuentran en las proximidades otros equipos, operarios a pie o vehículos ligeros. Aunque no haya visibilidad directa por una curva, otros equipos, acopios, polvo, niebla, lluvia, sol, etc. el operario recibe señales visuales y acústicas que informan de presencia cercana e incluso de una posible situación de peligro inminente.

BLAST CONSULT, S.L.

José Fentanes, 42

28035 Madrid

Tel: 609 988 120

E-m: blast-consult@blast-consult.com

Web: www.blast-consult.com



Case

Nuevas excavadoras **Serie C**

Case CE ha desvelado los cuatro primeros modelos de su gama de excavadoras de cadenas de la serie C. Las **CX250C**, **CX300C**, **CX350C** y **CX370C** montan motores que cumplen la normativa *Tier 4 Interim* que ofrecen una mejora del aprovechamiento del combustible de hasta el 10% sobre la serie B, que ya estaban entre las excavadoras más ahorradoras de combustible. Las potencias de accionamiento van desde los 177 a 198 kW

Con el sistema hidráulico inteligente de Case, las cuatro excavadoras ofrecen un rendimiento de excavación superior con menos emisiones y un consumo reducido. Cinco nuevos sistemas de ahorro de energía contribuyen al recorte de los cos-



tes de explotación para el cliente y al aumento de la productividad.

La cabina de la **Serie C** es un 5% mayor que en la serie B con un travesaño superior más pequeño y sin solapamiento en las ventanas frontales, lo que contribuye a una mejor visibilidad periférica.



CNH MAQUINARIA, S.A. (Case)

Web: www.casece.com

RECTIFICACIÓN:

En nuestro anterior Nº 199 de INGEOPRES, pag. 48 se publicó una información sobre el nuevo dumper **Hitachi EH4000ACII**, y se cita a **MOVITER, S.A.** para la información; cuando el distribuidor para España de los dumpers y excavadoras Hitachi de más de 100 t es la firma leonesa **SEREX, S.A.** (P.I. del Bierzo, parc. 40 • 24560 Toral de los Vados (León) • Tel: 987 545 805 - Fax: 987 545 447).

Industrias Juferma Coronas de diamante Juferma Series® Geotec

Industrias Juferma, en su constante expansión tecnológica y en su continuo estrechamiento de lazos con sus clientes, ha diseñado en su departamento de ingeniería y desarrollo una nueva Corona con la misma tecnología de fabricación que las actuales Juferma Series®, tan consideradas en el mercado por su alto rendimiento y elevada calidad.

La nueva Corona –Juferma Series® Geotec– ha sido diseñada para la mayoría de los sondeos que se realizan en el campo de la Geotecnia (consiguiéndose una

mejora en el coste por metro de perforación).

Al ser una corona *Multiuso*, se adapta perfectamente a la mayoría de los terrenos y se convierte en una solución ideal para la mayoría de los problemas.

Estas coronas pueden ser utilizadas con todo tipo sondas de media y alta potencia que dispongan de la suficiente capacidad de rotación y empuje.

Las recomendaciones de uso y parámetros de perforación aconsejados son los que se muestran en las *Tablas*.

Un nuevo folleto de las Corona Juferma Series® Geotec, está disponible.

TIPOS Y DUREZA DE ROCA UTILIZACIÓN RECOMENDADA

BLANDA	SEMI DURA	DURA
Arenisca	Andesita	Cuarcita
Caliza	Esquisto	Pegmatita
Yeso	Dolomía	Gabro
Pizarra	Basalto	Peridotita
Talco		Norita

SERIE GEOTEC

INDUSTRIAS JUFERMA, S.A. 
Adelfa, 17-19 - Pl. Los Calahorros IV
28970 Humanes de Madrid (Madrid)
☎: 91 690 43 78 • Fax: 91 606 20 13
E-mail: admon@juferma.com
Web: www.juferma.com

PARAMETROS DE PERFORACIÓN VALORES RECOMENDADOS

	DIÁMETROS MÉTRICOS mm									DIÁMETROS WIRELINE			
	46	56	66	76	86	101	116	131	146	BQ	NQ	HQ	PQ
ROTACIÓN r.p.m.	1400	1200	900	800	700	600	500	400	300	1000	800	600	500
PESO SOBRE CORONA KN.	5	6	8	9	11	15	17	19	21	12	15	20	22
CAUDAL Lit/min.	14	16	20	25	30	40	50	60	70	20	30	40	55



Las nuevas coronas Juferma Series® Geotec han sido diseñadas para la mayoría de los sondeos geotécnicos.

Serviplem - Telcon (Baryval) Incorpora plantas de hormigón a su gama de productos



Para ofrecer un programa completo dentro del sector del hormigón y el cemento, Serviplem ofrecerá también plantas de hormigón.

Serviplem, S.A.-Telcon (Baryval) ha decidido una vez más explotar las oportunidades que proporcionan los cambios y ampliar su gama de productos. Por ello, a partir de febrero y con el fin de ofrecer un servicio completo dentro del sector del hormigón y el cemento, han incorporado a su gama de productos **plantas de hormigón**.

Las características principales a destacar de algunas de las plantas de hormigón que a partir de ahora podrán ser suministradas a usuarios son:

- Centrales para la carga de camiones hormigonera, fijas o móviles.
- Dosificadoras o con hormigón premezclado.
- Instalaciones para prefabricado.
- Mezcladoras
- Producciones de 50 a 200 m³/hora.
- Diferentes sistemas de carga áridos.
- Sistema de seguridad de silos.
- Equipos de filtraje de cemento.
- Recicladores de hormigón.

Serviplem presenta las mejores soluciones en la producción de hormigón por:

- Robustez.
- Fiabilidad y precisión de pesada.

- Calidad de dosificación y mezcla.
- Ingeniería y diseño de la central adaptada a las necesidades del cliente.
- Equipo humano con larga experiencia en el sector.
- Respeto por el medio ambiente.
- Garantía demostrada.

Disponiendo de los medios tecnológicos más avanzados y de un equipo humano altamente especializado, Serviplem, S.A.-Telcon (Baryval) dispone de todas las herramientas necesarias para convertir este proyecto en un éxito.

La incorporación de plantas de hormigón a su gama de productos les permitirá diferenciarse de la competencia y confirma una vez más que esta compañía no solo es un líder en la fabricación de hormigoneras sobre camión sino que también es una fuerte referencia en el mercado para muchos otros tipos de maquinaria dentro del sector de la construcción.

 **SERVIPLEM, S.A.-TELCON (Baryval)**
Pl. Malpica - C/D
50016 Zaragoza
☎: +34 976 465 340
E-mail: info@serviplem.com
Web: www.baryval.es

Catálogo de publicaciones

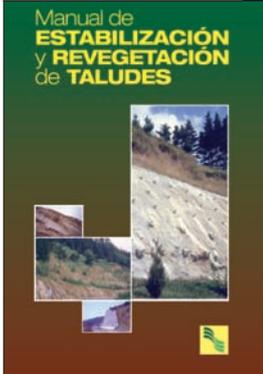


Manual de Técnicas de Mejora del Terreno

Precio Ud.: 48 € IVA Incl.

La necesidad de llevar a cabo proyectos de obra civil y de construcción en terrenos poco adecuados, obliga en muchos casos a la aplicación de técnicas de mejora de éstos. En este Manual se describen las técnicas de: compactación dinámica; precarga; columnas de grava; inyecciones; vibrocompactación; refuerzo de suelos y técnicas especiales.

Ana Bielza Feliú (1999)
Págs. 305
Formato: 17 x 24 cm.



Manual de Estabilización y Revegetación de Taludes

Precio Ud.: 66 € IVA Incl.

En este manual, además de abordarse todas las técnicas clásicas de estabilización de taludes, tanto en rocas como en suelos, se estudian los mecanismos de degradación de los materiales superficiales, los métodos de evaluación y las técnicas de control. Así mismo, se trata la revegetación de taludes, criterios de selección de especies y técnicas de implantación, y se incluyen diversos casos prácticos de obras ejecutadas por empresas especialistas.

Carlos López Jimeno, et al. (1999)
Págs. 610
Formato: 17 x 24 cm.



Ingeniería del Terreno. IngeoTer Vols. 1 - 2

Precio Ud.: 60 € IVA Incl.

Vol. 1. La Ingeniería del Terreno se concibe, en esta nueva serie de libros, como un conjunto de técnicas que se utilizan para funciones específicas en aspectos de la construcción de obras civiles en relación con el terreno.

Págs. 425

Vol. 2. El 2º volumen consta de 15 capítulos cuyo temas están relacionados con ensayos geotécnicos, caracterización y clasificación de macizos rocosos, análisis de la estabilidad y soporte de taludes y muros anclados, así como otros tópicos de interés. Págs. 432

C. López Jimeno, et al. (2002)
Formato: 17 x 24 cm



Ingeniería del Terreno. IngeoTer Vols. 5-6

Precio Ud.: 60 € IVA Incl.

Vol. 5. En este volumen, a través de sus 15 capítulos, se abordan algunos aspectos de la caracterización de los macizos rocosos. Otros seis se dedican a la estabilidad de taludes y a los métodos correctivos. También se trata de la construcción de terraplenes y su auscultación, y diversos casos prácticos de construcción y consolidación. Págs. 420

Vol. 6. Sus contenidos tratan aspectos teóricos y prácticos de las prospecciones *in situ* y reconocimientos del terreno. Se abordan además técnicas geofísicas de prospección; transporte; diseño y ejecución de inclusiones en forma de anclajes de barra en macizos rocosos; compactación dinámica por impacto; mecánica de rocas; cálculo y ejecución de elementos de cimentación y contención de terrenos, etc. Págs. 418

C. López Jimeno, et al. (2005)
Formato: 17 x 24 cm.



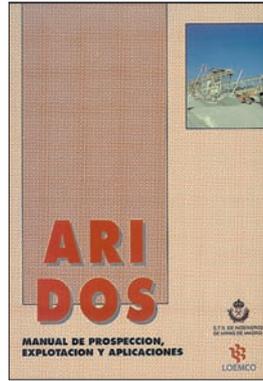
Ingeniería del Terreno. IngeoTer Vols. 9-10

Precio Ud.: 60 € IVA Incl.

Vol. 9. La obra comienza con la evolución de la Ingeniería del Terreno, agrupa temas de reconocimiento y caracterización de los terrenos (parámetros de resistencia y geomecánicos, el Índice DOI en tomografías eléctricas; evaluación del módulo de deformación de macizos y evaluación del riesgo de meteorización). El segundo bloque encuadra la estabilidad y tratamiento de suelos con cal, los muros de *soil nailing*; o pantallas de pilotes. Y finalmente, diversos casos prácticos. Págs. 440

Vol. 10. Agrupan: Métodos de análisis numérico y su aplicación a la geotecnia; correlación de los parámetros de perforación con las propiedades geomecánicas del terreno y las técnicas geoelectrica; barreras dinámicas para la protección contra desprendimientos de rocas y técnicas de drenaje para estabilización de deslizamientos del terreno; cálculo de cimentaciones profundas en suelos; lodos fitotrópicos, cimentaciones especiales en terrenos kársticos; etc. Págs. 420.

C. López Jimeno, et al. (2007)
Formato: 17 x 24 cm.



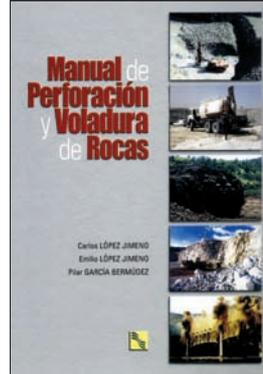
Manual de Áridos.

Prospección, Explotación y Aplicaciones

Precio Ud.: 60 € IVA Incl.

Esta publicación comprende 27 capítulos, redactados por más de 15 especialistas, en los que se tratan temas que van desde la prospección e investigación geológica de yacimientos hasta las diferentes aplicaciones de los áridos en obra civil y construcción. Otros capítulos del Manual se dedican al diseño de explotaciones, operaciones de extracción y preparación de los áridos, plantas de tratamiento, restauración de terrenos y medidas de seguridad.

C. López Jimeno, et al. 1998 (3ª Edic.)
Págs. 608
Formato: 17 x 24 cm



Manual de Perforación y Voladura de Rocas

Precio Ud.: 90 € IVA Incl.

Este manual pretende proporcionar el conocimiento básico sobre los sistemas de perforación, los tipos de explosivos y accesorios disponibles y las variables que intervienen en el diseño de las voladuras, controlables o no. Consta de 35 capítulos sobre los siguientes temas: métodos y accesorios de perforación de rocas, propiedades y tipos de explosivos, criterios de selección de explosivos, propiedades y caracterización de macizos rocosos, tipos de voladura, características y evaluación de las voladuras, planificación de los trabajos, medidas de seguridad, etc.

C. López Jimeno, E. López Jimeno y P. García (2003)
Págs. 818
Formato: 17 x 24 cm.



Ingeniería del Terreno. IngeoTer Vols. 3 - 4

Precio Ud.: 60 € IVA Incl.

Vol. 3. La obra comprende 14 capítulos, que abarcan los ensayos geotécnicos *in situ* mediante el ensayo dilatométrico de *Marchetti*; el nuevo criterio de rotura de *Hoek-Brown*; los análisis probabilísticos en problemas geotécnicos, etc. Págs. 450

Vol. 4. Al igual que en los volúmenes anteriores, la primera parte de la obra se dedica al estudio de los parámetros del terreno para, a continuación, tratar diversos temas de interés como son los asentamientos admisibles por las estructuras, actuaciones de estabilización de taludes en diversos proyectos. Págs. 452

C. López Jimeno, et al. (2002)
Formato: 17 x 24 cm



Ingeniería del Terreno. IngeoTer Vols. 7-8

Precio Ud.: 60 € IVA Incl.

Vol. 7. El primer bloque de este volumen está dedicado a las catástrofes naturales y al progreso de la geotecnia. Un segundo bloque se dedica a la adquisición de geodatos, y las aplicaciones y limitaciones del *GSI*. El tercero se centra en el diseño y adecuación de vertederos de residuos. Un cuarto bloque aborda la temática de protección de taludes. Págs. 448

Vol. 8. Distribuido en cinco bloques: metodologías aplicables a la Ingeniería del Terreno de determinados tipos de materiales; caracterización geomecánica; ejemplos prácticos de aplicaciones en estabilidad de taludes; utilización de materiales para el tratamiento del terreno; o control de procesos de suelos arcillosos, taludes o grandes presas. Págs. 440

C. López Jimeno, et al. (2006)
Formato: 17 x 24 cm.



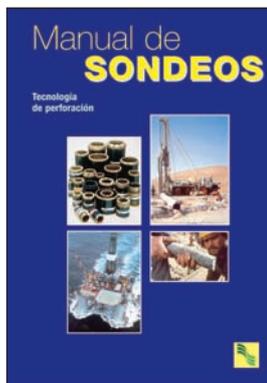
Ingeniería del Terreno. IngeoTer Vols. 11-12

Precio Ud.: 60 € IVA Incl.

Vol.11 En un primer bloque se aborda la estimación de módulos de macizos rocosos, la tecnología de visión por ordenador aplicada a la geotecnia; un segundo bloque trata sobre la problemática de perforación, deslizamiento, la auscultación de taludes, y el sostenimiento flexible. Un tercer bloque está dedicado a la cimentación y normativa de pilotes, micropilotes, pilas-pilote, e inyecciones de compensación, lodos poliméricos e instrumentación. Págs. 440

Vol.12 En sus 19 capítulos se incluyen temas como: ensayos geotécnicos *in situ*; problemática de suelos expansivos; geotecnia vial; clasificaciones geomecánicas; estabilidad de taludes de terraplenes y muros de escollera; cimentaciones profundas mediante pilotes y micropilotes, pantallas plásticas; geotermia aplicada a climatización de edificios; ó muros pantalla sobre pilares aplomados. Págs. 436

C. López Jimeno, et al. (2008 y 2009)
Formato: 17 x 24 cm.

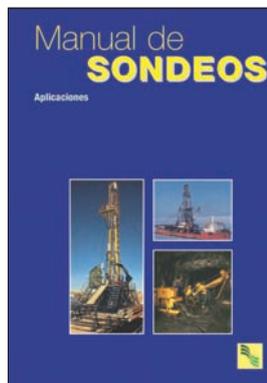


Manual de Sondeos. Tecnología de Perforación.

Precio Ud.: 66 € IVA Incl.

Esta obra recoge una amplia descripción de los principales métodos de perforación, los principios de funcionamiento, los procedimientos de evacuación de los detritos, los campos de aplicación, etc. Entre los principales capítulos destacan los de perforación a rotación con recuperación de testigo, o el de perforación a gran profundidad; fluidos de perforación, o la entubación y cementación, el control y su testificación, así como medidas de seguridad en la perforación.

C. López Jimeno, et al. (2000)
 Págs. 700
 Formato: 17 x 24 cm.

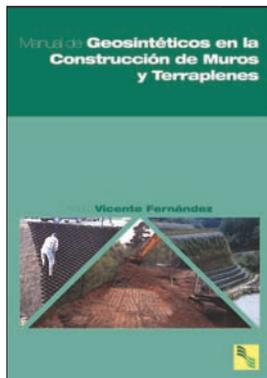


Manual de Sondeos. Aplicaciones.

Precio Ud.: 42 € IVA Incl.

En este segundo volumen se explican los diferentes campos de aplicación de los sondeos, con sus peculiaridades y práctica operativa. Entre otros, se abordan los sondeos para captación de aguas, de petróleo y gas, de investigación minera, geotécnicos, para consolidación de terrenos, etc. Se incluyen otros temas complementarios sobre fundamentos geológicos, aplicaciones informáticas, tipos de contratos, etc.

C. López Jimeno, et al. (2001)
 Págs. 409
 Formato: 17 x 24 cm.

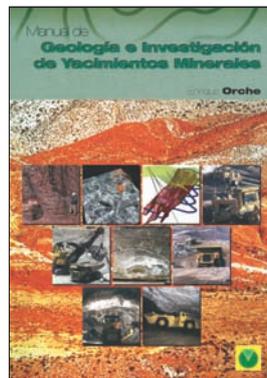


Manual de Geosintéticos en la Construcción de Muros y Terraplenes

Precio Ud.: 42 € IVA Incl.

En la primera parte, se analizan los diferentes tipos de geosintéticos, así como los ensayos para su caracterización. En la segunda, se desarrolla la metodología a seguir para la elección del geosintético adecuado a tres tipos de estructuras: terraplenes en terrenos blandos, taludes y muros. Se incluyen diferentes casos prácticos redactados por especialistas.

Arturo Vicente Fernández (2001)
 Págs. 270
 Formato: 17 x 24 cm.

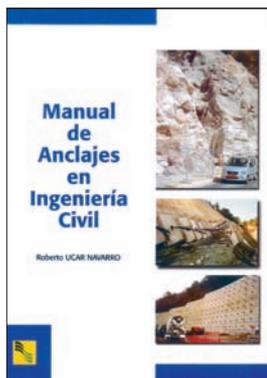


Manual de Geología e Investigación de Yacimientos Minerales

Precio Ud.: 66 € IVA Incl.

En la primera parte de este texto se descubren algunos conceptos básicos sobre yacimientos, la clasificación de éstos y los procesos de formación. En la segunda parte se estudian las diferentes técnicas de prospección: fotogrametría y teledetección, prospección geoquímica y geofísica, prospección por sondeos y técnicas mineras, etc.

Enrique Orche (2001)
 Págs. 760
 Formato: 17 x 24 cm.

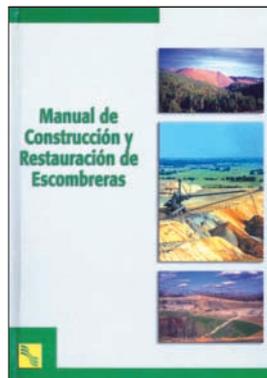


Manual de Anclajes en Ingeniería Civil

Precio Ud.: 72 € IVA Incl.

En este libro se describen las diferentes técnicas de refuerzo del terreno, masas de suelo o rocas, para garantizar su sostenimiento. Aporta los instrumentos de cálculo necesarios para el dimensionado de anclajes en taludes con diferentes tipos de rotura y en excavaciones subterráneas.

Roberto Ucar Navarro (2005)
 Págs. 548
 Formato: 17 x 24 cm.



Manual de Construcción y Restauración de Escombreras

Precio Ud.: 90 € IVA Incl.

En los diferentes capítulos del libro se tratan los temas relacionados con: las características de los distintos tipos de estériles, la elección y preparación de los emplazamientos de las escombreras, así como el diseño geotécnico de las mismas y los métodos de construcción. Otros tratan sobre la estabilización de depósitos de estériles con problemas de colapso o erosión, la integración paisajística mediante revegetación, o prevención y tratamiento de las aguas ácidas en el caso de depósitos con sulfuros. *Págs. 640.*

Carlos López Jimeno, et al. (2006)
 Formato: 17 x 24 cm.

Si desea consultar el catálogo completo de publicaciones visite: www.entornografico.com

TARJETA DE PEDIDO

Datos personales

NIF / DNI: NOMBRE:

EMPRESA /ORGANISMO:

DIRECCIÓN:

CIUDAD: PROVINCIA CP

TELÉFONO: Firma:

FAX:

E-mail:

Forma de pago

Adjunto cheque a nombre de ENTORNO GRÁFICO, S.L.

Transferencia a: Caixa 2100/4447/94/0200039665

Domiciliación Bancaria

Titular C/C

Código Cuenta Corriente			
Entidad	Oficina	D.C.	Número de cuenta

Pedido de publicaciones

TITULO	Nº DE EJEMPLARES	IMPORTE

Remitir a su comodidad por Fax o Correo a:
Entorno Gráfico, S. L. • P. I. Las Nieves. C/ Plasencia 1-17, nave 29 • E-28935 MÓSTOLES (Madrid)
 Tel.: 91 616 95 20* • Fax: 91 616 97 88 • E-mail: ingepres@entornografico.com

S G SUMINISTROS GUILLEMET

LA CORUÑA desde 1983
Teléfonos: 981 915 747 - 981 915 746
Fax: 981 915 748

comercial@suministrosguillemet.com www.suministrosguillemet.com

Accesorios y Maquinaria de Obras Públicas y Minería

- Punteros • Dientes de pala • Equipos de aires
- Varillaje integral y extensible • Bocas de perforación
- Mallas y rodillos • Cemento expansivo



Robit
ROCKTOOLS

Brunner
& Lay

BBG

ROCA

ROCKEATER
The Steel with Bite

HARDOX
WEARPARTS

20 Años ofreciendo servicio mopycsa

MAQUINARIA PARA OBRAS PUBLICAS Y CONSTRUCCIÓN, S.A.

Oficina Central: Méndez Alvaro, 8-10. 28045 Madrid
Tels.: 91 467 03 11 - Fax: 91 527 72 68

E-mail: mopycsa@mopycsa.com - Web: www.mopycsa.com



- Equipos de perforación para cimentaciones.
- Equipos de inyección y Jet Grouting.
- Servicio de Asistencia Técnica.
- Alquiler y venta de maquinaria.
- Grúas para Cimentaciones.
- Herramientas especiales.
- Varillaje, Tubos, etc.
- Equipos y accesorios para Geotermia.

soilmec
Drilling and Foundation Equipment

DRILLMEC
DRILLING TECHNOLOGIES

ATC

EuroCrane

JEAN LUTZ

Link-Belt

distribuciones Pako

Material para sondeos,
minería e instrumentación



Distribuidor oficial de:

BOART LONGYEAR

SLOPE INDICATOR



Ctra. Porriño-Salceda Km.2. 36475 Budiño - Porriño (Pontevedra)
e-mail: pako@distribucionespako.com www.distribucionespako.com
Telf.: +34 986 33 88 87 Fax: +34 986 33 74 84

Siempre un paso
por delante



SUTÉVAR
SUMINISTROS TÉCNICOS
DE PERFORACIÓN

Más de 10 años
a su servicio
www.sutevar.com

- Martillos y cabezas de rotación hidráulicos.
- Accesorios de perforación Sistema O.D.
- Equipos de perforación para cimentaciones.
- Útiles de perforación de roca.
- Equipos de inyección y jet grouting.
- Plantas de cemento.
- Martillos en fondo y tallantes.
- Bombas de agua para barrido.
- Sistemas especiales de perforación.
- Servicio de Asistencia Técnica.
- Recambios.
- Alquiler y venta de maquinaria.



PLACA DE CARGA DINÁMICA 300 mm Modelo HMP-LFG

Rápida ejecución del ensayo
Resultados inmediatos
No precisa camión de reacción
Norma UNE 103807-2:2008

Distribuidor exclusivo para España y Portugal:

CFT&ASOC, S. L.

Tel. 93 207 66 30
info@fernandeztadeo.com · www.fernandeztadeo.com





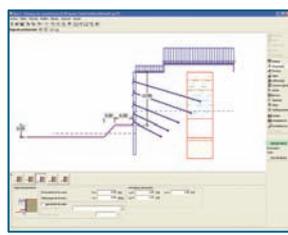
TECOP, S.A.
TECNICAS PARA O.P. Y SEGURIDAD, S.A.

- Perforadoras para micropilotes, recalces, captación de agua, geotecnia y voladuras.
- Penetrómetros.
- Material de perforación.
- Detectores de gases.

Venta, repuestos y servicio

Granito, s/n. P.I. Puente de Madrid. 28412 Cerceda. Madrid. Tel.: 91 842 00 55
www.tecopsa.com

geotechnical software suite
GEO5



Paquete Integrado de software para análisis geotécnico basado en métodos analíticos y elementos finitos (MEF)

Solicite información en:
marketing@finesoftware.es

Venta, Soporte y Formación en:
www.finesoftware.es

Tel: 91.747.5254

INGEOSOLUM




SEGEDA
Especialistas en equipos y repuestos de perforación



Polig. «Los Caños». C/ Guadiana, 49. 06300 Zafrá (Badajoz) Spain.
Tel.: +34 924 563 031 • segeda@segeda.com • www.segeda.com



DESARENADORES DE BENTONITA

Nuestras plantas pueden trabajar con todo tipo de instalaciones de desarenado.

Modelos:

- Simple ciclonado: Aconsejados para terrenos poco arenosos o con arenas poco finas. Caudal de 40 - 400 m³/h.
- Doble ciclonado: Necesarios para terrenos arenosos o con mucha arenas finas. Caudal de 40 - 250 m³/h.
- Mixtos: Primera etapa de ciclonado completa y segunda etapa parcial.

Las plantas con un solo ciclónaje tratan 100% del caudal nominal. Las plantas con doble ciclónaje pueden tratar, si es necesario, el 150% del caudal nominal dependiendo del contenido de arenas finas y silts.

ROBUSTEZ Y FACILIDAD DE MANEJO

- Los equipos pueden ser transportados mediante trailer.
- Conexiones necesarias: 2 tubos para la pulpa + 1 cable eléctrico.
- Accesorios para comprobación: muestras, presión, etc.
- Mantenimiento mínimo.

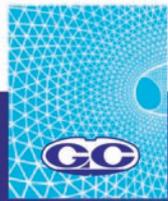
FABRICACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA CUALIFICADA DESDE MADRID Y/O ASTURIAS.

Madrid. Menéndez Pelayo, 2. 28009 MADRID. Tel.: (34) 91 577 62 77. Fax: (34) 91 575 74 95.
E-mail: comercial@gosag.com, www.gosag.com.

Cataluña. Joaquín Plana Masip. Pol. Ind. Sant Ermengol I. C/ Progreso, 5. 2.º 1.º 08630 ABRERA (Barcelona).
Tel.: (34) 639 11 35 10. Fax: (34) 937 70 04 04. E-mail: jplana@gosag.com.

Sur. Francisco Lamonedá. Cuesta de los naranjos, 19. 18198 HUETOR VEGA (Granada).
Tel.: (34) 629 15 64 62. Fax: 958 30 82 34. E-mail: flamonedá@gosag.com

Asturias. Ctra. de los Campos a Trubia, Km. 1,200. 33416 CORVERA (Asturias), Aptdo. 281 AVILÉS.
Tel.: (34) 98 551 56 32-74. Fax: (34) 98 557 88 57.



GEOCONSULT

ACTIVIDADES

- *Ingeniería de Obras Subterráneas
- *Ingeniería del terreno
- *Geología y Geotecnia
- *Geofísica
- *Estudios y Proyectos
- *Asistencias Técnicas

Valentín Beato, 24 - 4.º - 28037 MADRID
Tel. 91 304 18 46 - Fax 91 304 20 47
C/ Santiago de Compostela, 12 - 3.º
Oficina F - 48003 BILBAO. Tel./Fax 94 415 49 55
C/ Llull, 51-55, 3.º Ofic. 4 - 08005 BARCELONA
Tel. 93 485 09 51 - Fax 93 300 68 07

<http://www.geoconsult.es>

e-mail - info@geoconsult.es



EQUIPO DE PROSPECCIONES, S.A.
www.equipodeprospecciones.com

- Proyectos de Túneles Interurbanos y Obras Subterráneas Urbanas
- Ingeniería del terreno e Informes Geotécnicos
- Estudios de aprovechamiento de materiales
- Asistencia Geotécnica a Direcciones de Obra

Oficina y Laboratorio:
Pasaje Bisbal, 6 - 3.º
28028 - MADRID
Tf.: 91.356.63.01
Fax: 91.713.13.90
e-mail: epsa@ciccep.es

Delegación Sevilla:
c/Virgen de Lujan, 51 - 7.º I
41011 - SEVILLA



**MOVIMIENTOS DE TIERRA
PERFORACIÓN Y VOLADURA
SERVICIOS DE MINERÍA**

91 644 96 30 • 664 20 11 96
movitex@movitex.es • www.movitex.es



APLICACIONES ESPECIALES DE INGENIERÍA CIVIL, S.A. - PERFORACIONES ESPECIALES Y DIRIGIDAS, S.L.

SOLUCIONES EFICACES A TRABAJOS ESPECIALES

- PERFORACIÓN HORIZONTAL Y DIRIGIDA
- PERFORACIÓN EN ROCA
- ENTERRADORAS DE CABLES Y TUBERIAS
- ZANJADORAS DE SECCIÓN REDUCIDA
- HINCAS VERTICALES Y HORIZONTALES
- CHIMENEAS DE VENTILACIÓN EN ROCA
- COLOCACIÓN DE CANALETAS PREFABRICADAS

C/ Merindad de Montija, 18 - Nave 9 A.
Polígono Industrial Villalonquénar
Apartado 547. 09001 BURGOS
Tel.: 947 298 695 - Fax: 947 298 615
E-mail: comercial@aples.net

Más información en nuestra web www.aples.net



OCSA
PROSPECCIONES Y ESTUDIOS, S. L.

Isabel Clara Eugenia, 50 - Bajo A
28050 MADRID
Tel.: 91 750 09 04
Fax: 91 750 08 99
E-mail: ocsa@ocsa-geofisica.com
Web: www.ocsa-geofisica.com

Prospección Geofísica para:

- Geotecnia
- Geotermia
- Hidrogeología
- Minería
- Medio Ambiente
- Arqueología

Información detallada y ejemplos en la
Página Web: www.ocsa-geofisica.com

OFICINAS / OFFICES ☎ (34) 945 135 626 - 📠 (34) 945 130 592
FÁBRICA / FACTORY Pol. Industrial San José de los Llanos, Calle A, nº5, Pabellón 1
 01230 NANCLARES DE LA OCA (ALAVA) - ESPAÑA / SPAIN
DIRECCIÓN POSTAL / P.O. BOX Apartado de correos 1631 - 01080 VITORIA
 GASTEIZ - ESPAÑA / SPAIN
kayati@kayati.com / www.kayati.com

Perforación de sondeos

Instrumentación de terrenos

Micropilotes

Sondeos mediambientales

Estudios Geotécnicos

Geotermia

Sondeos para agua

C/ San Sebastián, 8
28280 El Escorial (Madrid)
Tel. 91 890 87 39
Fax 91 890 23 80
info@alensa.es
www.alensa.es

GEOCONTROL
25 años 1982-2007

OFICINAS CENTRALES
C/ San Sebastián 19-21, 5º
28003 Madrid
T: 91 553 17 63
F: 91 554 84 96
geocentral@geocentral.es
www.geocentral.es

DELEGACIÓN BARCELONA
C/ Bergamà, 11, Mirasol B, nave 11
Pol. Ind. Can Bernadet-Subirà
08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)
T: 93 574 93 82
F: 93 574 93 82
geocentral.bar@geocentral.es

Geología
Medio Ambiente
Hidrogeología
Geotecnia

NUEVOS SERVICIOS

PENETRACIÓN ESTÁTICA Y PIEZOCONO CPT/CPTU

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

ESTUDIOS IMPACTO PAISAJÍSTICO

www.geomediterrania.com

Angarma Industrial

Tubería de micropilotes (TM 80/ST-52)
Varillaje y útiles para todos los sistemas de perforación (O.D., API, JET GROUTING, INVERSA,...)
Mantenimiento de obras públicas

Tlf. 91 884 48 97 Fax 91 884 41 38 info@angarmaindustrial.com www.angarmaindustrial.com
Ctra. M-118 km. 2,4 28806 Alcalá de Henares - Madrid

Talleres Segovia s.l.

Perforadoras para captación de agua, geotécnica y micropilotes.
Equipos de perforación horizontal.
Accesorios, herramientas de perforación y pilotes.
Equipos para inyecciones y jet grouting.

Cañada de Recueros, 14-16 (Polígono Industrial Sevilla)
Apartado 19 - 28946 FUENLABRADA (Madrid) - ESPAÑA
Teléf: (+34) 91 615 44 13 - Fax: (+34) 91 606 84 05
Web: www.tallersegovia.com
E-mail: dsegovia@tallersegovia.com



Laboratorio geotecnia

Acreditaciones:

GTLb+c1+c2+c3

EHCb+c2

Grupo 1 (Org. Cuenca)

Mecánica de suelos.

Mecánica de rocas.

Ensayos de Áridos.

Análisis de Aguas.

Ensayos de Hormigón.

CEPASA Ensayos Geotécnicos, S.A.

C/Nicolás Copérnico 12 - Pol. Ind. CODEÍN

28945 FUENLABRADA (Madrid) Tel: 91 606 88 54 Fax: 91 609 88 55
E-mail: info@cepasaensayos.com Web: www.cepasaensayos.com



GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

- ESTUDIOS Y CARTOGRAFÍA
- PELIGROSIDAD Y RIESGO
- HIDROGEOLOGÍA
- SUELOS Y ROCAS
- TALUDES Y TERRAPLENES
- CIMENTACIONES
- EXCAVABILIDAD
- MATERIALES

OBRAS SUBTERRÁNEAS



- TÚNELES
- MÉTODOS CONSTRUCTIVOS
- SOSTENIMIENTOS
- SUBSIDENCIAS
- TUNELADORAS
- EMBOQUILLES
- REHABILITACIÓN DE TÚNELES
- ASESORÍA EN OBRA
- INSTRUMENTACIÓN

Subterra
INGENIERIA

Vallehermoso, 30.
28015 Madrid, España.
T./ +34 91 5340530
F./ +34 91 5331475
info@subterra-ing.com
www.subterra-ing.com



Todo en perforación



Oficinas y almacén:

AV. Moncayo, 2 Nave 15
28700 S.S. Reyes (Madrid)
Tel.: 91 653 48 01 Fax.: 91 623 80 61
Mail: administracion@dalpersl.com
Delegación Norte:
Tel.: 635 61 30 09 Fax.: 98 539 41 49
Mail: agil@dalpersl.com

Accesorios de perforación
Sostenimiento
Cortadores para TBM
Suministros para túnel
Picas para rozadora y cimentación
Tubería ventilación flexible y ventiladores
Accesorios y equipos para cimentación
Equipos y accesorios forestales
Accesorios para realización de sondeos

dalpersl.com



ALQUILER, VENTA Y REPARACIÓN

C/Bronce 28
28510 Campo Real (Madrid)
Tels.: +34 91 876 51 81 / +34 91 876 51 14
Fax: 901 707 808
acmaquinaria@acmaquinaria.com

Suministro de materiales
de perforación y
venta de repuestos

Especialistas en
Eurodrill, Klemm, Beretta,...

**Maquinaria de
Perforación**

Micropilotes

Anclajes

Geotecnia

Inyección

Jet Grouting



SERVICIO TÉCNICO
OFICIAL



**Su excavadora nueva.
Mientras la necesite.**

Atención al cliente:

902 200 780

www.liebherr.com

**LIEBHERR
ALQUILER**



■ **Instalaciones para tratamientos de áridos**

- Tolvas / Alimentadores
- Transportadores de banda
- Clasificadores / Cribas
- Recuperadores de finos
 - Decantadores
 - Hidrociclón
 - Clarificadores

■ **Residuos**

- Alimentación
- Clasificación

■ **Proyectos completos con ingeniería propia**

Polígono Malpica, calle E, nº 70
50016 ZARAGOZA (España)
Tel. 976 57 11 12 / Fax 976 57 07 77

www.tusa.es • e-mail: tusa@tusa.es



Índice de anunciantes

EMPRESA	Pág.
A.C. MAQUINARIA	35 y 112
AETESS	19
ALENSA	111
ANGARMA INDUSTRIAL	111
APLES, S.A.	70 y 110
BARLOWORLD FINANZAUTO	5 y 113
BASF CONSTRUCTION CHEMICALS ESPAÑA	21
BIANCHINI INGENIERO	55
CEPASA ENSAYOS GEOTECNICOS, S.A.	112
CFT & ASOCIADOS, S.L.	109
COMERCIAL DE SONDEOS	113
DALPER	112
ENERES SISTEMAS ENERGÉTICOS SOSTENIBLES	97
ENERGROUT GEOTHERM, S.L.	81
EQUIPO DE PROSPECCIONES, S.A.	110
EXPOMATEC	51
GEO-GROUND ENG.OPERATIONS	29
GEOBRUGG IBÉRICA, SAU	3
GEOCONSULT	110
GEOCONTROL, S.A.	111
GEOSEC ESPAÑA	59
GEOTER - GEOTHERMAL ENERGY	73
GINESTA	43
GOSAG	110
INDUSTRIAS JUFERMA	Portada y 109
INGEOSOLUM	110
INTEGRAL PARK SYSTEMS S.L.	87
KAYATI, S.L.	111

EMPRESA	Pág.
KMMB IBERICA	113
LIEBHERR ALQUILER	114
LIEBHERR IBERICA	11
MALLA TALUD	49
MAXAM	Ctpda. Ext.
MECANIZACION Y MINERIA	79
MEDITERRANIA DE GEOSERVEIS	111
MENARD ESPAÑA, S.A.	113
MESUREX, S.L.	113
METSO MINERALS	35
MOPYCSA	109
MOVITEX	110
OCSA PROSPECCIONES Y ESTUDIOS, S.L.	111
SANDVIK ESPAÑOLA, S.A.	33
SEGEDA	110
SIKA, S.A.	15 y 113
SOLUCIONES TECNICAS EN PERFORACION, S.L.	91
SUBTERRA INGENIERIA	112
SÜD-CHEMIE	67
SUMINISTROS GUILLEMET	109
SUMSERT	49
SUTEVAR, S.L.	101, 109 y 113
TALLERES SEGOVIA, S.L.	45 y 112
TECOP, S.A.	93 y 110
TECSO, S.A.	Ctpda. Int. 1ª y 113
TEPUY INGENIERIA, S.A.	77
TUSA	114
VOLMAQUINARIA ESPAÑA	13



Shaping the world you live in

¿Nos imaginamos la vida actual sin telefonía móvil y sin ordenadores? Difícil. ¿Qué los hace posibles? El transformar en aplicaciones prácticas las posibilidades que nos ofrecen los recursos naturales. ¿Cómo conseguir esos recursos? La energía expansiva que aportan los productos explosivos es la que ayuda a extraer de la mina el cobre de la batería de un teléfono móvil o el oro del chip de un ordenador. Sin estos materiales nuestras vidas no serían tal y como son.

Desde su fundación por Alfred Nobel, hace casi 140 años, MAXAM está en el origen y bienestar del mundo que nos rodea, colaborando con su desarrollo sostenible para conseguir el progreso y crecimiento de todos los que vivimos en él.

MAXAM

Civil Explosives • Outdoors • Defence • Chem • Energy

Avda. del Partenón, 16. Campo de las Naciones 28042 Madrid
Tel.: (34) 91 722 01 00. e-mail: general@maxam.net www.maxam.net