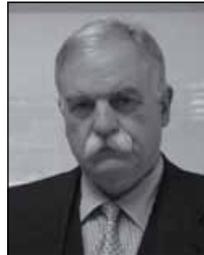


Ejecución del túnel de Lavaderos-Montecillo mediante hinca de tubos con una longitud total de 913 m



Alberto González Fernández

Ingeniero técnico Industrial.
Balce Ingeniería Subsuelo y Microtúneles



Rolando Justa Cámara

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Acciona Infraestructuras



Diego Molina Jiménez

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Acciona Infraestructuras



Luis Manuel Pinillos Lorenzana

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Acciona Infraestructuras

Resumen

Se describe la ejecución de un túnel hidráulico realizado mediante hinca de tubos con una longitud de 913 m. Los tubos que se han colocado son de hormigón de 2.000 mm de diámetro interior y 2.400 mm de longitud. Se han dispuesto durante la ejecución 10 estaciones intermedias y se han usado sufrideras de 22 mm de espesor entre tubos. El túnel fue excavado mediante un hidroescudo en la terraza fluvial del río Tajo en materiales areno-arcillosos. El túnel se ha realizado con la gran precisión, manteniendo la pendiente del 0,15 % sin contrapendientes intermedias. Este túnel fue excavado en 69 días y forma parte de la conducción necesaria para completar el emisario por gravedad hasta la EDAR de Estiviel en la provincia de Toledo.

Palabras clave

Hinca de tubos, microtúnel, excavación sin zanja, tuneladora, hinca larga

Abstract

A pipe jacking tunnel of 913 m in length is described in this paper. A total of 361 concrete tubes of 2,000 mm inner diameter and 2,400 long has been used. The tunnel was excavated by slurry microtunnelling TBM on terrace's geology of the Tajo river. This challenge was made with a high accuracy to maintain the constant slope of 0.15 %. The tunnel has been bored in 69 days and this tunnel completes an important part of the outfall by gravity to the Water Treatment Plant of Estiviel in Toledo's province.

Keywords

Pipe jacking, microtunnel, trenchless excavation, tunnel boring machine, pile driving

Introducción

Como parte del proyecto que desarrolla las instalaciones necesarias para solucionar el problema de recogida de los vertidos generados por la población de Toledo, se ha previsto la construcción de uno de los dos tramos de conducción realizado mediante hinca para el envío de los citados vertidos hasta la ubicación de la nueva EDAR prevista en Estiviel. La obra ha sido promovida por AcuaSur y ejecutada por Acciona.

Una de las dos hincas realizadas que se llevaron a cabo tiene una longitud de 913 m y es por ello objeto de descripción del presente artículo.

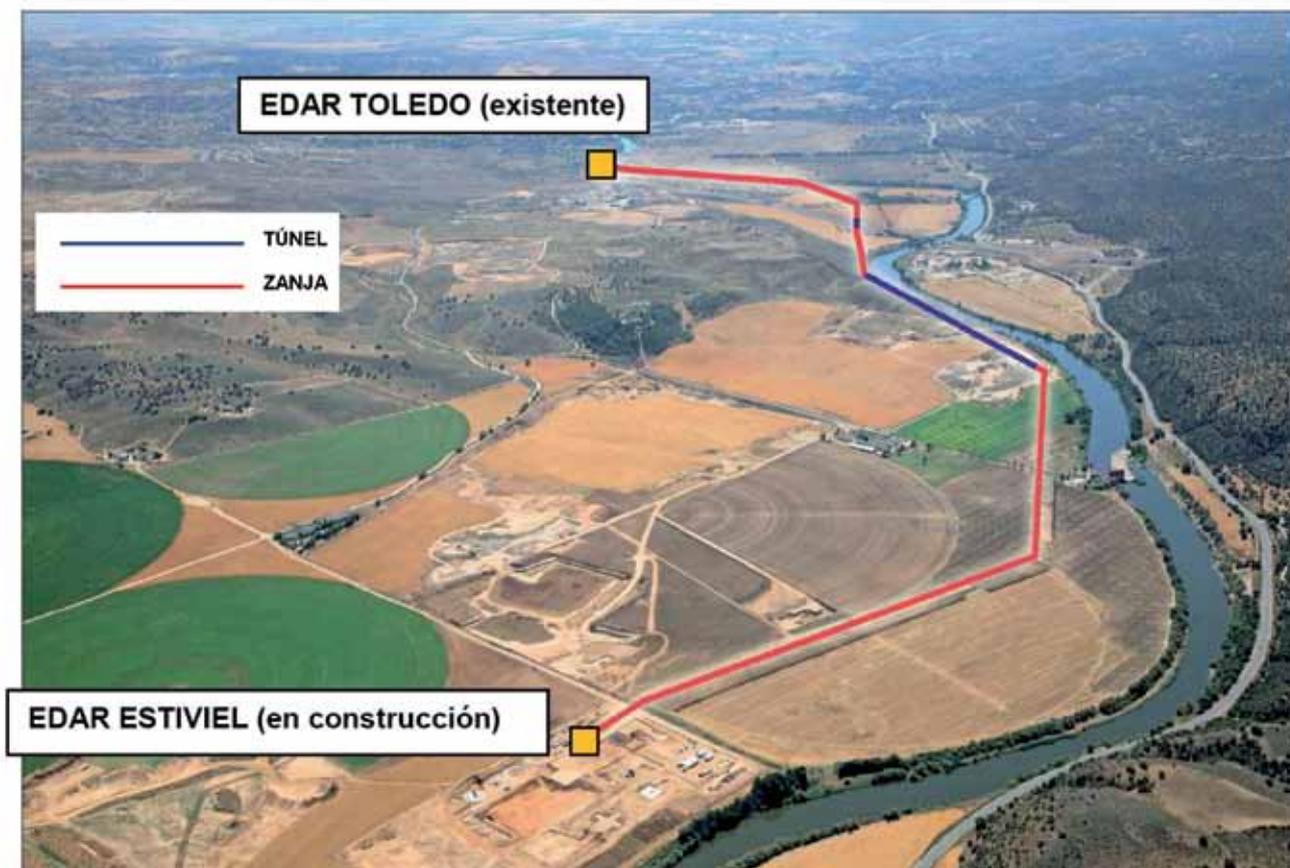


Fig. 1. Foto de situación de las obras de conducción

Descripción de los condicionantes y zona de actuación

En el citado proyecto del colector de la EDAR de Estiviel se han previsto dos hincas de distinta longitud que finalmente se han ejecutado con una longitud total de 913 m y 254 m, respectivamente.

Los condicionantes más importantes del tramo de conducción de 913 m que se describe y que se ha realizado en la localidad de Estiviel en la provincia de Toledo son, por un lado, los condicionantes de trazado determinados por la cota de inicio y final de la hinca, los condicionantes hidráulicos que marcaban el diámetro de la excavación y el tubo y por otra, los condicionantes geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos de la zona de actuación.

La justificación de realización de este tramo de conducción mediante una hinca larga en vez de una disposición de tubo

en zanja se encuentra motivada precisamente por los condicionantes geológico-geotécnicos al evitar con este proceso constructivo la realización de zanjas profundas próximas al río Tajo. Esta solución permite además, la circulación de vehículos por los caminos sin afección alguna, el acopio de materiales en las zonas previstas próximas al trazado y mantener el máximo nivel de seguridad al ejecutar la obra en la terraza del río.

Desde el punto de vista geológico, la obra general se ubica en la cuenca del río Tajo que se caracteriza por un basamento ígneo de granitos y gneises hercínicos, sobre el cual se dispone una secuencia de materiales sedimentarios depositados desde el terciario hasta la actualidad. La excavación del túnel se produce en materiales depositados por el río en la llanura de inundación y son depósitos detríticos granulares, formados por arenas con contenidos variables de limos y



Fig. 2. Foto de la máquina situada en el pozo antes de la realización de la hinca (BALCE)

arcillas, por encima de los cuales predominan los depósitos cuaternarios holocenos antrópicos de la acción del río Tajo.

Descripción de la hinca y retos conseguidos

El trazado previsto para esta hinca tan larga de 913 m de longitud completa un emisario que tiene una capacidad de transporte de 4,00 m³/s y forma parte del proyecto de la EDAR de Estiviel (Toledo) planteaba inicialmente dos retos importantes:

1. La gran longitud de la hinca y la problemática asociada a la geología y técnica de excavación del túnel.
2. La pendiente ascendente del 0,15 %. La condición de mantener dicha pendiente en todo momento sin realizar ningún tramo en contrapendiente es muy restrictiva para la funcionalidad de la conducción.

La hinca se llevó a cabo mediante un hidroescudo, marca Herrenknecht, modelo AVND 2000 AB, con un diámetro de excavación de 2.475 mm y con cabeza de corte cerrada.

Se hincaron 361 tubos de 2,4 m de longitud y 2.400 mm de diámetro exterior de hormigón armado, con un diámetro interior de 2.000 mm y 200 mm de espesor, fabricados por la empresa Borondo con sufrideras de 22 mm de espesor. El guiado de la máquina se realizó mediante la instalación de un emisor láser en el pozo de hinca de la marca Geolaser modelo VL-80 (hasta los 454 m) y otro SLS-RV Plus de la marca VMT hasta finalizar la longitud de la hinca.

Las instalaciones exteriores se dispusieron de forma ordenada para que el perforista pudiese controlar todas las operaciones a realizar en el exterior y con visibilidad en todo momento del espacio interior del pozo de ataque. Fue

necesario contar con un generador de 1.000 kVA para la alimentación eléctrica de la máquina y otras instalaciones. Se llevó a cabo la instalación de un pórtico grúa de 16 T con rodadura sobre carriles para el movimiento de tubos y bajada de los mismos, así como el descenso de las estaciones intermedias a la cuna del pozo de arranque de la hinca. Las instalaciones incluían las bombas y la estación separadora para el retorno de los materiales excavados. Esta estación separadora era de la empresa Schauemburg y modelo MAB400 que contaba con una capacidad sobredimensionada de tratamiento de 400 m³/h.

Durante la hinca se cumplieron las previsiones de generación de lodo bruto realizadas las cuales dependen principalmente del terreno a excavar y de la densidad que se tenga en los tanques, llevándose a cabo el vaciado y renovación de los tanques decantadores cada 6 o 9 horas.

Se montaron 10 estaciones intermedias de 3,41 m (en posición cerrada). Uno de cada dos tubos disponía de

inyectores de bentonita de 1" de diámetro con válvula antirretorno. La primera estación intermedia que se activó fue a los 545 m, habiéndose activado finalmente 4 de las 10 instaladas.

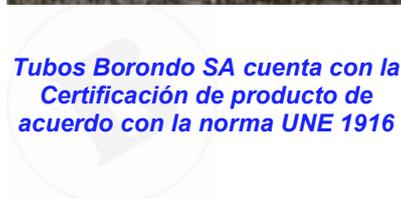
Las estaciones intermedias de empuje están constituidas por una envolvente exterior de acero y unos cilindros hidráulicos, con un recorrido de 35 cm, colocados en la periferia del tubo y permiten la redistribución de la fuerza total de empuje en la tubería.

Una vez terminada la hinca se retiran los cilindros de las estaciones intermedias y se cierran con ayuda del bastidor principal y en los casos de no poderse cerrar completamente se procede a la reconstrucción del anillo.

El sistema de lubricación con bentonita fue automático durante todo el proceso de hinca. Se instalaron un total de 80 cajas dentro del túnel que permitían al perforista configurar desde el contenedor de mando los ciclos de



*Tubos en zanja y para hincar hasta Φ 3.000
Pozos, Dovelas
Marcos y Galerías Abovedadas
Productos Ferroviarios*



*Avda. de la Circunvalación s/n
Polígono Industrial Borondo
28510 Campo Real (Madrid)
Telf. 902 119 110 Fax: 91 876 53 34
e-mail : borondo@borondo.es
<http://www.borondo.es>*





Fig. 3. Foto del interior del túnel que muestra una de las estaciones intermedias (BALCE)

inyección y los volúmenes a inyectar en cada punto de inyección. Para la preparación del fluido bentonítico se usaron los siguientes componentes: bentonita THR, soda ASH, SC Plug, SCXGum y SCLub.

La hincada se realizó desde un pozo de arranque de hormigón armado realizado dentro de un recinto estanco de tablas que fue calculado también para permanecer como pozo de registro definitivo.

La obra se realizó en dos turnos de 12 horas con equipos diferentes, siete días por semana. El turno de día estaba compuesto por el piloto y 4 operarios y el equipo nocturno lo formaban un piloto y 3 operarios.

El rendimiento medio de hincada fue de 5 tubos/día a doble turno, unos 13,26 m/día. La hincada se inició el día 27 de julio



Fig. 4. Foto del interior del túnel que muestra cajas e inyectores de bentonita (BALCE)

de 2012 y la fecha de finalización fue el día 3 de octubre de 2013, llevándose a cabo los 913 m en 69 días. El rendimiento máximo llevado a cabo en 12 horas fue de 11,91 m.

El tiempo medio de montaje de un nuevo tubo durante la obra fue de 46 minutos. Se ha de tener en cuenta que antes de la colocación de un nuevo tubo es necesario desconectar todas las tuberías de transporte de material, así como los cables eléctricos y los latiguillos hidráulicos, alargar cada uno de estos circuitos y volver a conectarlos una vez colocado el tubo, para poder proseguir la perforación.

La evacuación del material excavado se realiza mediante el transporte hidráulico, transformándolo en un lodo inyectando agua o agua y bentonita a través de la cabeza de corte en el frente. El sistema de evacuación está formado por un conjunto de conducciones que permite



Fig. 5. Foto del pozo de ataque y cuna para disposición de tubos (Balce)

la descarga a velocidad variable, con unas válvulas de presión para su control, así como un baipás para evitar el retorno del fluido y aislar el flujo de lodos cuando se colocan nuevos tubos.

La máxima fuerza de empuje puntual registrada por el centro de control de la máquina durante la hinca fue de 804 T. Las mayores fuerzas de empuje se registran normalmente en el arranque tras las paradas prolongadas o paradas de colocación de tubos, pero los valores alcanzados han sido bajos durante toda la hinca. Como protocolo de actuación se consideraron como valores límite las 700 T y se marcó como necesaria una inspección de juntas (para comprobar que no existen distorsiones angulares superiores a los $0,5^\circ$) y revisión topográfica del trazado si se aproximaban los empujes a las 1.000 T, estableciendo el refuerzo de juntas si se hubiesen superado estas magnitudes, algo que no sucedió en ningún caso.

Se puede observar una tendencia de crecimiento normal en las fuerzas de empuje máximas diarias que se registraron durante el proceso y se pueden observar los periodos de activación de las estaciones intermedias y la eficiencia de la lubricación realizada (ver gráfico 3).

Las tolerancias absolutas de posición, que se permitían tanto en cota como en planta, no debían sobrepasar los 60 mm respecto a la posición teórica del trazado, siendo lo

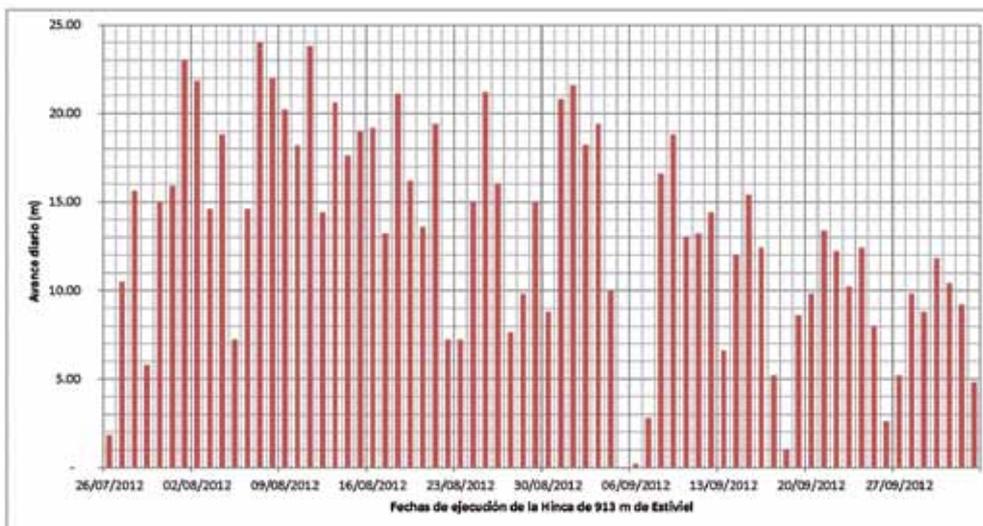


Gráfico 1. Avances diarios realizados durante la hinca de Estivel l= 913 m. (Acciona)

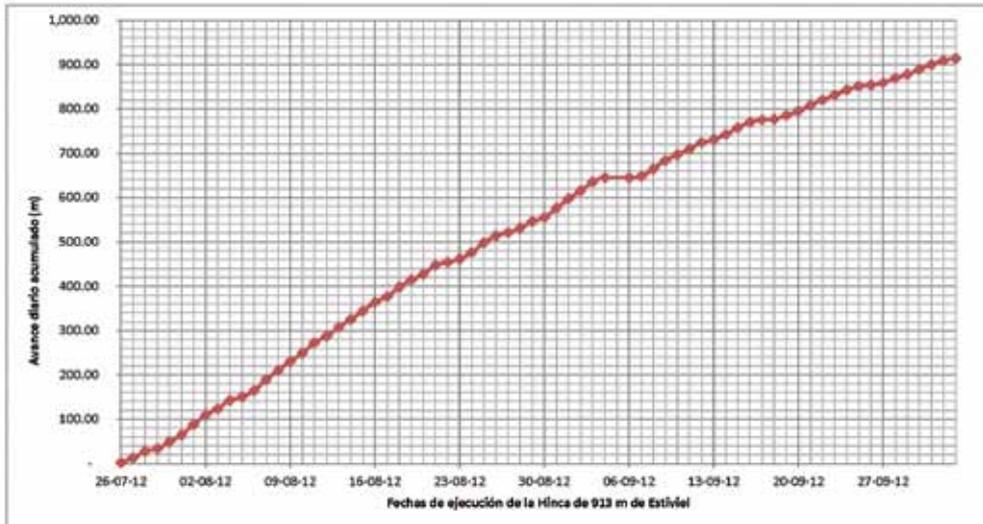


Gráfico 2. Avances diarios acumulados durante la hinca de Estivel l=913 m (Acciona)

más importante mantener la regularidad en ascendente de la pendiente, un condicionante estricto, sobre todo para la longitud de 913 m de hinca que se ha realizado y que era necesario mantener para no condicionar la funcionalidad del colector que tenía fijadas como bastante estrictas las cotas de entrada y salida del túnel.

Para conseguir la correcta alineación de la tubería es necesario disponer con exactitud el carril guía dentro del pozo de ataque y dirigir el proceso, tanto los tubos, como la cabeza con el bastidor de empuje, manteniendo la alineación mediante los cilindros hidráulicos de la máquina y los cilindros del bastidor. El control del guiado se realiza mediante un láser situado en el pozo de ataque y que incide en un blanco que se encuentra en el escudo.

Finalmente, la conducción concluyó con una desviación en planta de +55 mm en X y +200 mm en Y, con una precisión en alzado excepcional de +60 mm que resulta favorable al cometido del colector sin producirse ningún punto bajo en el trazado.

Conclusiones

La realización de las dos hincas en esta obra y en concreto la hinca larga descrita, contribuyeron a realizar la conducción de una forma segura, rápida, preservando el patrimonio arqueológico de la zona y extremando todas las protecciones medioambientales, minimizando la afección



Fig. 6. Foto de la llegada de la máquina al punto de salida el 3 de octubre de 2013 (Acciona)

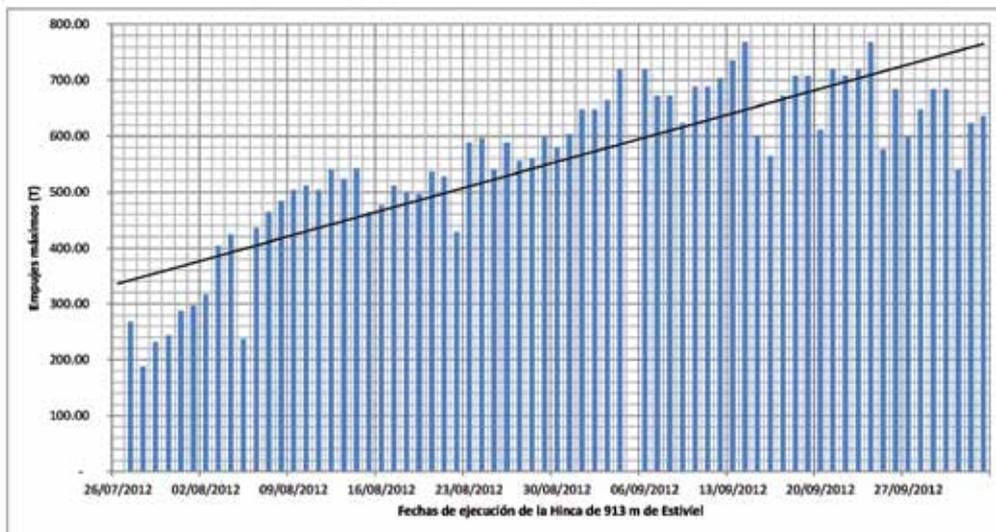


Gráfico 3. Registro de empujes máximos cada día en la hinca de Estiviel l= 913 m. (Acciona)



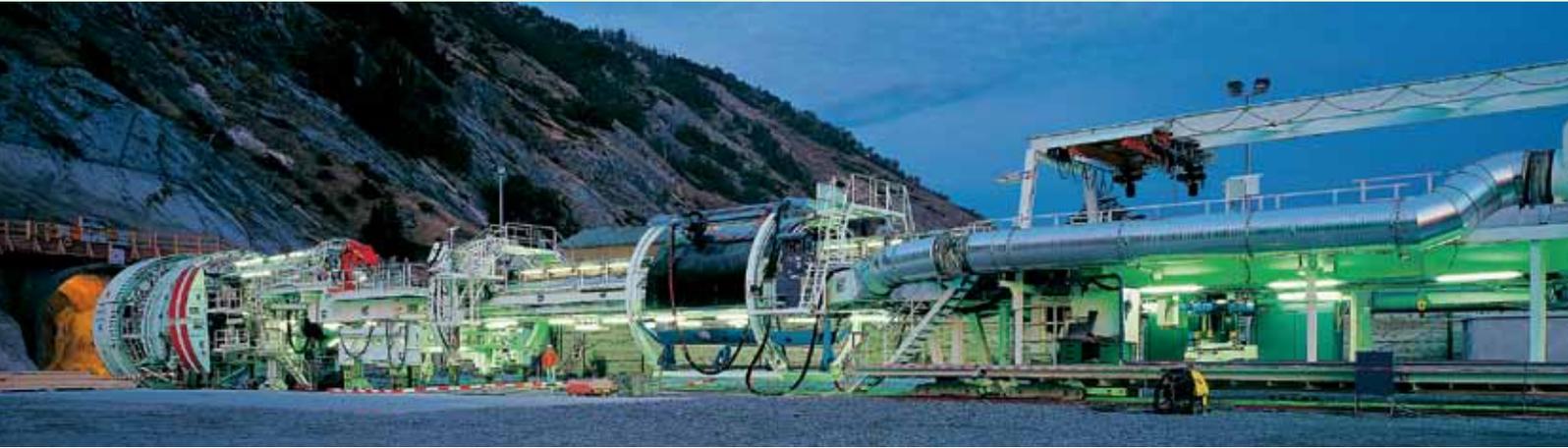
Fig. 7. Panel informativo de la obra incluyendo las longitudes de pozo 913m+9m=924 m (Acciona)

a caminos y fincas, en un entorno geotécnico complejo en la terraza fluvial del río Tajo.

La hinca de 913 m realizada por Acciona se llevó a cabo con una excepcional precisión de trazado en alzado y planta resultando en alzado una desviación total positiva de 60 mm que permite que el colector, parte importante de la obra del emisario hasta la EDAR de Estiviel, cumpla el cometido para el que fue diseñado y construido.

Agradecimientos

Los autores del artículo tienen que agradecer en primer lugar a Aguas de las Cuencas del Sur, S.A. (Acuasur) y al director de obra don Luis Javier Romero de Córdoba su trabajo, así como a la empresa Ayesa Ingeniería que ha realizado la Asistencia Técnica de esta obra y también, a todos los trabajadores tanto de Acciona, como de las empresas colaboradoras que han intervenido por el excelente resultado en esta actuación. **ROP**



SIEMPRE ENCONTRAMOS UN CAMINO.

Herrenknecht AG es líder de tecnología y de mercado en la excavación mecanizada de túneles. Es la única empresa que provee toda una gama de productos y servicios mundialmente, y que suministra máquinas de perforación de túneles de alta tecnología (High-tech) para todo tipo de terrenos y en todos los diámetros de 0.10 m hasta 19.0 m.

Las máquinas Herrenknecht son fabricadas a medida para crear sistemas de abastecimiento y evacuación de aguas, gas y petróleo (rama del Utility Tunnelling), así como túneles de carretera, metro y de tráfico ferroviario (rama del Traffic Tunnelling) en todo el mundo. Nuestras máquinas tuneladoras excavan el túnel ferroviario más largo del mundo y trabajan en las mayores líneas de metro. Las máquinas ayudan a perforar un túnel bajo el agua con una precisión suprema y ayudan en el tendido de oleoductos a lo largo de los continentes.

Para ello, Herrenknecht se considera un socio durante toda la fase del proyecto, formando parte de ese equipo de trabajo en el túnel (Teamwork Tunnelling). Por este motivo se ofrecen todo tipo de servicios que complementan nuestra gama de productos. El grupo Herrenknecht emplea a más de 5.000 personas y cuenta con 78 filiales y empresas asociadas que trabajan en campos relacionados, por ejemplo, en soluciones de logística o sistemas de perforación profunda. Siempre encontramos un camino. Junto con nuestros clientes.

Herrenknecht AG
D-77963 Schwanau
Phone + 49 7824 302-0
Fax + 49 7824 3403
marketing@herrenknecht.com

www.herrenknecht.com



FONDOS DE INVERSIÓN

La solución para que usted no tenga que ocuparse de gestionar sus inversiones.

SICAV'S

GERLOCAPITAL SICAV S.A.
Invierte en Renta Variable con una vocación global y exposición en distintas divisas.
(Nº REG. CNMV 211)

CENTAURUS 2002 SICAV S.A.
Con una cartera de Renta Fija con objetivo de estabilidad, invierte en Renta Variable global.
(Nº REG. CNMV 2819)

RENTA VARIABLE

CARTERA VARIABLE F.I.
Fondo 100% Renta Variable con exposición en Ibex35 fundamentalmente.
(Nº REG. CNMV 1678)

CAMINOS BOLSA EURO F.I.
Fondo 100% Renta Variable con exposición en Eurostoxx 50 fundamentalmente.
(Nº REG. CNMV 2327)

CAMINOS BOLSA OPORTUNIDADES F.I.
Fondo 100% Renta Variable. Busca oportunidades en empresas con potencial de revalorización.
(Nº REG. CNMV 660)

MIXTO

RV 30 FOND F.I.
Fondo mixto de Renta Fija con una exposición máxima en Renta Variable del 30% y una cartera de RF que busca valor añadido.
(Nº REG. CNMV 498)

DINFONDO F.I.
Fondo mixto de Renta Fija que invierte en una seleccionada cartera de RF y un máximo del 10% en Renta Variable.
(Nº REG. CNMV 261)

RENTA FIJA

FONCAM F.I.
Nuestro Fondo de Renta Fija más galardonado.
(Nº REG. CNMV 659)

FONDO SENIORS F.I.
Fondo de Renta Fija por el que Gestifonsa SGIIC ha sido galardonada como mejor Gestora de RF en varios ejercicios. (Nº REG. CNMV 2622)

DINVALOR GLOBAL F.I.
Fondo de Renta Fija Global con reducida exposición en España, invierte en distintas estrategias con bonos internacionales.
(Nº REG. CNMV 1477)

MONETARIO

DINERCAM F.I.
Nuestro Fondo Monetario.
(Nº REG. CNMV 3449)

E **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF a LP Año 2000** Otorgado por Expansión y Standard&Poor's. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF a LP 3 años Año 2001** Otorgado por Expansión y Standard&Poor's. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF a LP Año 2004** Otorgado por Lipper Fund Awards y Cinco Días. / **Dinvalor Global FI Tercer Premio Mixtos defensivos Año 2005** Otorgado por Intereconomía, Morningstar, Tressis y JP Morgan. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF Bonos Euro Año 2008** Otorgado por Morningstar y La Gaceta. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF LP zona Euro Año 2008** Otorgado por Interactive Data y Expansión. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo de RF Año 2008** Otorgado por Lipper Fund Awards. / **Gestifonsa SGIIC Premio Mejor Gestora de RF Año 2008** Otorgado por Interactive Data y Expansión. / **Foncam FI Best Fund over three years bond Euro Año 2009** Otorgado por Lipper Fund Awards. / **Foncam FI Best Fund over five years bond Euro Año 2009** Otorgado por Lipper Fund Awards. / **Foncam FI Best Fund over ten years bond Euro Año 2009** Otorgado por Lipper Fund Awards. / **Dinercam FI Premio Mejor Fondo Monetario Nacional Año 2010** Otorgado por BME, Interactive Data y Expansión. / **Gestifonsa SGIIC Premio Mejor Gestora de RF Nacional Año 2010** Otorgado por BME, Interactive Data y Expansión.

Disclaimer: IMPORTANTE: para invertir en estos productos es necesario tener conocimientos y experiencia en los Mercados conforme a la Normativa MiFID. Existe riesgo de pérdida de capital invertido. Rentabilidades pasadas no aseguran rentabilidades futuras. Las cifras y datos contenidos en este anuncio no constituyen recomendación de compra o venta de una inversión y tienen estricto contenido publicitario. Los Fondos de Inversión disponen de un folleto informativo y documento con los datos fundamentales para el inversor (DFI) que pueden consultarse en las oficinas de GESTIFONSA SGIIC, S.A.U., Nº Registro Administrativo CNMV-123, C/ Almagro 8 planta 5ª, 28010 Madrid, en la página web de la Entidad (www.gestifonsa.es) y en la página web de la Comisión Nacional del Mercado de Valores (www.cnmv.es). La Entidad Depositaria de los Fondos de Inversión es Banco Caminos S.A., Entidad de Crédito registrada en el Banco de España con el código de Entidad 0234.