

La construcción de pozos verticales con máquinas “VSMs”

The construction of vertical shafts using “VSM” machines

Revista de Obras Públicas
nº 3.519. Año 158
Marzo 2011
ISSN: 0034-8619
ISSN electrónico: 1695-4408

Felipe Mendaña Saavedra. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
AETOS. Consultor (S.P.I.C.C., S.L.). Madrid (España). fms@spicc.e.telefonica.net

Resumen: El artículo se refiere a las distintas fases de la construcción de pozos con las Máquinas de Pozos Verticales (en lo que sigue, “VSMs”), así como a otros aspectos significativos del empleo de este nuevo método.

En primer lugar, se trata en detalle la fase previa de implementación de las Instalaciones auxiliares de la obra y la Movilización de los equipos, fase que el autor considera de la máxima importancia en el desarrollo global de la obra, por lo que incluye algunos casos especiales que se pueden presentar al constructor.

Expone seguidamente el resto del Proceso de la construcción del pozo en los terrenos mas adecuados para el empleo de estas máquinas, lo suelos y rocas blandas, con o sin carga de agua, extensible al caso de las rocas matrices de dureza media.

Finalmente, se refiere a las dos características más atractivas que ofrece la nueva tecnología: la CALIDAD de la obra terminada, la SEGURIDAD EN EL TRABAJO y la CERTEZA DE PLAZOS Y COSTES. En cuanto a la CALIDAD, se destacan la impermeabilidad del revestimiento y la inexistencia de subsidencias significativas en los terrenos circundantes, características muy superiores a lo que puede lograrse con los Métodos convencionales. Por lo que se refiere a la SEGURIDAD EN EL TRABAJO, señala que todas las operaciones del Proceso se hacen desde el exterior del pozo, con lo que se evita totalmente el riesgo de otros métodos. Por último, razona que esta tecnología es la que realmente ofrece posibilidad de una evaluación cierta de PLAZOS Y COSTES.

En resumen, el autor complementa con esta publicación la exposición de la nueva tecnología, con las recomendaciones a seguir en al planteamiento y ejecución de las obras.

Palabras Clave: Instalaciones de obra; movilización de equipos; VSM para roca; Impermeabilidad del revestimiento; Subsidencias; Seguridad; Plazos de ejecución

Abstract: The article refers to the different construction stages of shafts using Vertical Shaft Machines (henceforth, “VSMs”), as well as other significant aspects of the deployment of this new method.

Firstly, there is detailed consideration of the prior stage for implementing the auxiliary Installations of the works and the mobilisation of the equipment, a stage which the author regards as very important for the overall development of the works as it includes some special cases which can be presented to the constructor.

There is then a description of the rest of the shaft construction process on the sites most suitable for the deployment of these machines, the soft rocks and soils, mainly under water load, extendable to rock matrices of medium hardness.

Finally, two features are referred to which are the most attractive about this new technology: the QUALITY of the completed works, the SAFETY AT WORK and the CERTAINTY OF TIMEFRAMES AND COSTS. As far as QUALITY is concerned, worthy of mention are the impermeability of the lining and the absence of any significant subsidence on the surrounding sites, features which are far superior to those offered by conventional Methods. As regards SAFETY AT WORK, it is indicated that all the Process operations are carried out from the exterior of the shaft, thereby totally avoiding the risk of other methods. Finally, it is argued that it is this technology which actually enables a correct evaluation of TIMEFRAMES AND COSTS.

In summary, by means of this publication the author completes the description of the new technology and the recommendations to be followed in the planning and implementation of the works.

Keywords: Job installations; Mobilisation; Rock VSMs; Lining impermeability; Subsidence; Safety at work; Timeframes

1. Introducción

Desde un punto de vista global, las nuevas Máquinas de Pozos Verticales ("VSMs") aportan a la tecnología de la construcción integral de pozos, unas ventajas similares a las que ofrecen las máquinas tuneladoras (TBMs) en el caso de la construcción de túneles. Y ello es así, como se verá en lo que sigue, tanto por lo que se refiere a los Plazos y rendimientos posibles en las distintas fases de la construcción de la obra, como a otras ventajas adicionales, relativas a la Calidad de la ejecución y a la Seguridad en el trabajo (7).

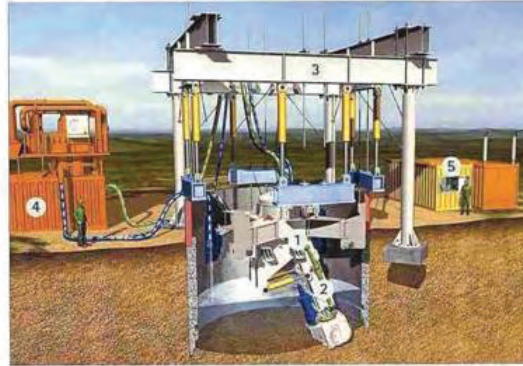
En los apartados que siguen se trata en detalle, en primer lugar, la FASE INICIAL del proceso constructivo porque, en cuanto a rendimientos, esta Fase de la construcción mecanizada de un pozo (Montaje de Instalaciones y Movilización de equipos) es más sensible para el conjunto de la obra, que el resto del Proceso, lo que no sucede, en general, en el caso de túneles.

Es la simple consecuencia de las dimensiones lineales de ambos tipos de obra, de varios kilómetros en los túneles y de pocas decenas de metros en cada uno de los pozos de un mismo Proyecto. De ahí que en éstos, cualquier desviación del programa de la Fase inicial sea de una importancia esencial, comparada con el plazo de la Fase de Ejecución propiamente dicha de la obra, lo que no sucede en un túnel, en el que, incluso, dicho retraso inicial se puede recuperar aumentando ligeramente el rendimiento del resto del proceso.

Y todo ello tiene la máxima importancia en el caso, cada vez más frecuente, de obras urbanas, en las que dichos desajustes de plazo pueden llegar al máximo en un proyecto de túnel de longitud significativa que incluya varios pozos de Ventilación y Salida de emergencia, como es usual en las infraestructuras de transporte ferroviario en Italia o España, o en los nuevos planes de renovación de conducciones de aguas residuales entre las que destacan los Planes Generales llevados a cabo en San Petersburgo (1)(5) y en Kuwait (2)(5). Puede decirse que, al iniciar la construcción del túnel es preciso que estén ya claramente disponibles las zonas a ocupar por las instalaciones auxiliares de los pozos.

En segundo lugar se tratará el PROCESO DE EJECUCIÓN de un Pozo vertical, principalmente en el caso de suelos y rocas blandas, que es el campo de aplicación preferente de esta nueva tecnología, para pasar después a la ejecución de pozos en rocas de dureza media. La exposición se apoya en ejemplos de obras realizadas.

- Mando a distancia
Remote contro
- Hinca controlada del revestimiento
Controlled driving of the lining
- Revestimiento paralelo al eje de la Hinca
Lining parallel to the axis of the driving



1. Máquina "VSM"
1. "VSM" machine
2. Brazo excavador
2. Excavating arm
3. Pórtico de hinca
3. Driving gantry
4. Planta de separación
4. Separation plant
5. Cabina de control
5. Control cabin

Fig 1. Instalación general de una "VSM" / General installation of a "VSM".

1. Introduction

From a general perspective, the new Vertical Shaft Machines ("VMS"s) contribute advantages to the technology of the overall construction of shafts similar to those offered by tunnelling machines (TBMs) in the construction of tunnels. And, as shall be seen later, this is both as regards the Timeframes and performances possible at the various works construction stages as well as other additional advantages relating to the Quality of implementation and Safety at work (7).

The points below firstly take a detailed look at the INITIAL STAGE of the construction process because, in terms of performance, this mechanised construction Stage of a shaft (Assembly of Installations and Mobilisation of equipment) is more sensitive for the works as a whole than the rest of the Process which is not the case, generally speaking, in the case of tunnels.

It is the mere consequence of the linear dimensions of both types of work of several kilometres in the tunnels and a few dozen metres in each of the shafts of the same Project. Hence, any deviation from the programme of the Initial Stage is of paramount importance compared with the timeframe of the actual Implementation Stage of the works which is not the case in a tunnel where said initial delay may even be recovered by slightly improving the performance of the rest of the process.

And this is all of paramount importance in the ever more frequent case of urban works in which said timeframe maladjustments may reach an extreme in a tunnel project of significant length which includes several



Fig. 2. Excavación previa con sostenimiento del terreno y cimentación de instalaciones/
Prior excavation with support of the site and foundation of the installations.

Por último, se incluyen los temas de CALIDAD, SEGURIDAD EN EL TRABAJO y PLAZOS Y COSTES, que son, probablemente, la aportación más importante que ofrece esta nueva tecnología.

2. Instalaciones auxiliares y movilización, proceso y retirada de obra

2.1. El caso general: Instalaciones convencionales

■ Movilización y trabajos previos para montaje de las instalaciones auxiliares

- Trabajos previos.

Son, principalmente, los siguientes que se pueden seguir con ayuda de la Figura 1 y ver en detalle en las Figuras 2 a 5.:

- a) Explanación de la zona del brocal mas una excavación inicial del pozo del orden de unos 5 m de profundidad para alojar el "anillo cero" y los 4 anillos siguientes del revestimiento.



Fig. 3. Soldadura de la parte metálica del "anillo 0" del revestimiento/
Welding of the metallic part of "ring 0" of the lining.

ventilation and Emergency exit shafts as is usual in railway transport infrastructures in Italy or Spain, or in the new waste water pipings as the Master Plans developed in St. Petersburg (1)(5) and in Kuwait (1)(5). It can be said that upon commencing the construction of the tunnel it is necessary for the areas to be occupied by the auxiliary installations of the shafts to be already totally available.

Secondly, the IMPLEMENTATION PROCESS of a vertical shaft is dealt with, mainly in the case of soft rocks and soils which is the preferable field of application of this new technology, then moving on to the implementation of shafts in rocks of medium hardness. The description is based on examples of works carried out.

Finally, the themes of QUALITY, SAFETY AT WORK and TIMEFRAMES AND COSTS are included, this probably being the most important contribution afforded by this new technology.

2. Auxiliary installations and mobilisation, process and removal of works

2.1. The general case: Conventional installations

■ Mobilisation and prior works for the assembly of auxiliary installations

- Prior works:

In the main, they are those set out below which can be followed with the aid of Figure 1 above and see in detail in Figures 2 to 5 later:

- a) Earthworks of the curb area plus an initial excavation area of the shaft of around 5 m deep to house the "zero ring" and the 4 following lining rings.
This excavation must be carried out by conventional methods and, if it is necessary to prop the walls, it is recommended to use horizontal metallic trusses on wire mesh and sprayed concrete. The Groundwater Level does not normally reach the lower elevation⁽¹⁾.
- b) Paving of concrete ground plate in ring form around the curb, with a width of around at least 2.5 mm to facilitate control of the bentonite slurry between the site and the lining also to have a clear area around the curb.

(1) If it is attained, if you are unable to drain with pumps, a pile solution with a circular tie beam must be adopted, as indicated in next 2.2.

Fig. 4.
"Anillo 0" del
revestimiento/
"Ring 0" of the
lining.

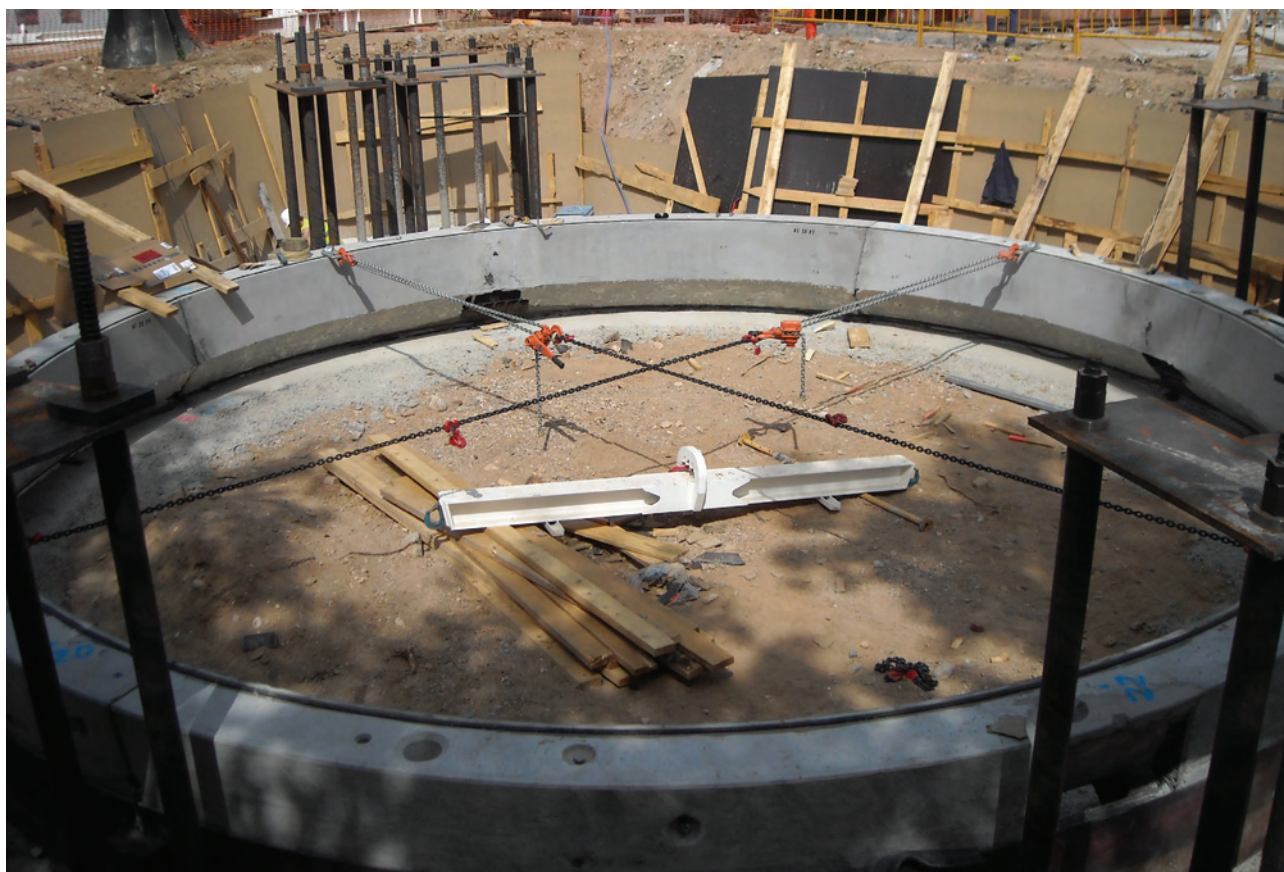


Fig 5. Solera
Anular armada/
Reinforced
annular ground
plate.



c) Reinforced concrete ground plates for the foundation of the support jacks of the lining (or of the Gantry on old machines) and of the 3 raising cranes of the "VSM"⁽²⁾.

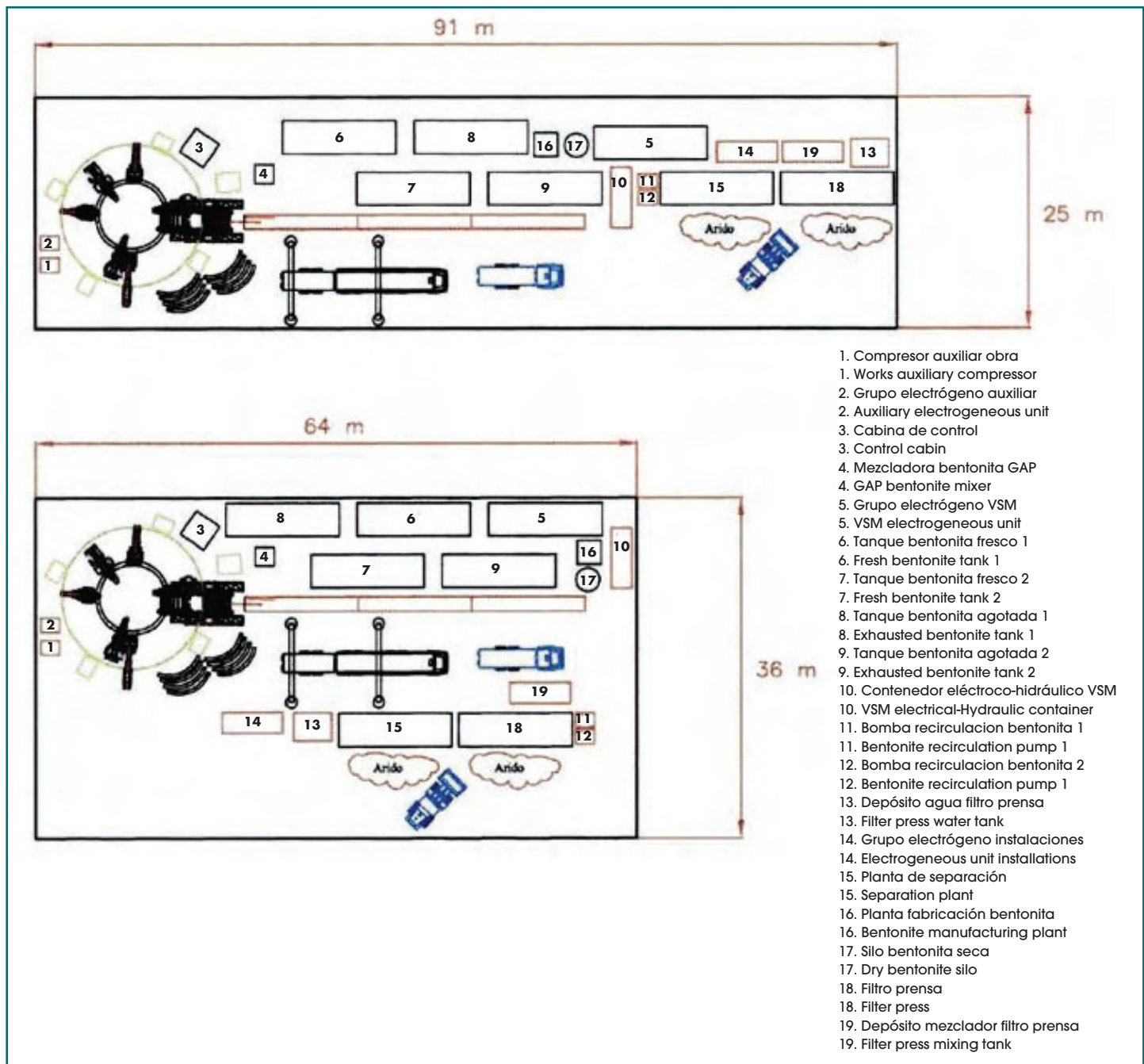
The timeframe for these works depends on the place at which the Installations are situated and the space available. If there are no limitations in terms of space and working hours, the timeframe may vary between 1.5 and 2 months in the case of direct foundations.

- Assembly of the Installations. Mobilisation of the "VSM".

d) Implementation of the general Installations (Recovery plan, command cabin, Warehouse and workshop, Electrogenous unit of $\approx 1,600$ kW etc.).

e) Transport to works and Assembly of the "VSM"

⁽²⁾ In the filter press plant it was decided to eliminate all solid material as a whole (residual bentonite, silt organic matter etc), resolving not to recover the bentonite separately because its scarce proportion in the mix would not justify this).



Esta excavación ha de hacerse por métodos convencionales y, si es necesario entibar las paredes, lo recomendable es emplear cerchas metálicas horizontales sobre mallazo y Hormigón proyectado. Normalmente, el Nivel Freático no alcanza la cota inferior⁽¹⁾.

(1) En caso de que la alcanzase, si no se consigue desaguar con bombas, habría que ir a una solución de pilotes con viga de atado circular, como se expone en el punto 2.2. siguiente.

The page below (Figure 6) shows the minimum dimensions required for the area to be recovered by the machine and its auxiliary Installations, generally speaking, whereby it is assumed that the space available is not excessively restricted.

The timeframe for the Assembly of the Installations may be around 1.5 months if there is no restriction in the space required or the loads of the cranes which may occur in areas with cellars.

Fig. 6. Posibles disposiciones en Planta de las Instalaciones específicas/
Possible layouts on the Ground Plan of the Specific Installations.

Fig. 7. "VSM" inundada trabajando/
"VSM" flooded whilst working.



Fig. 8. "VSM" en el exterior para revisión. Vista de una de las grúas de elevación/
"VSM" in the exterior for revision. View of one of the raising cranes.



- b) Pavimentación de una solera de hormigón en forma anular alrededor del brocal, de una anchura de unos 2,5 m como mínimo, para facilitar el control del nivel del lodo bentonítico entre terreno y revestimiento y disponer también de un área limpia alrededor del brocal.
- c) Zapatas de Hormigón armado para la cimentación de los gatos de sustentación del revestimiento (o del Pórtico en las máquinas antiguas) y de las 3 grúas de elevación de la "vsm"⁽²⁾.

El plazo de ejecución de estos trabajos depende del lugar en que se emplazan las Instalaciones y del espacio disponible. Si no hay limitaciones de espacio y de horario de trabajo el plazo puede oscilar entre 1,5 y 2 meses en el caso de cimentaciones directas.

- Montaje de las Instalaciones. Movilización de la "VSM"
- d) Implementación de las Instalaciones generales (Planta de recuperación, Cabina de mando, Almacén y taller, Grupo electrógeno de ≈ 1.600 kW, etc).
- e) Transporte a obra y Montaje de la "VSM".

En la Figura 6 se dan las dimensiones mínimas necesarias para la zona a ocupar por la máquina y sus Instalaciones auxiliares, en el caso general, en que se supone que el espacio disponible no está excesivamente restringido.

El plazo para el Montaje de las Instalaciones puede ser del orden de 1,5 meses si no hay limitación del espacio necesario o de las cargas de las grúas, lo que puede suceder en áreas con sótanos.

■ Proceso

- Excavación / Revestimiento del Pozo / Tapón de fondo y solera.
- f) La base del proceso es la operación de la "vsm" con mando a distancia, manteniendo la excavación inundada (preferentemente con un lodo

(2) Puede ser conveniente armar también la solera anular y empalmar sus armaduras con las de estas zapatas para que el peso del conjunto equilibre la reacción de los gatos.

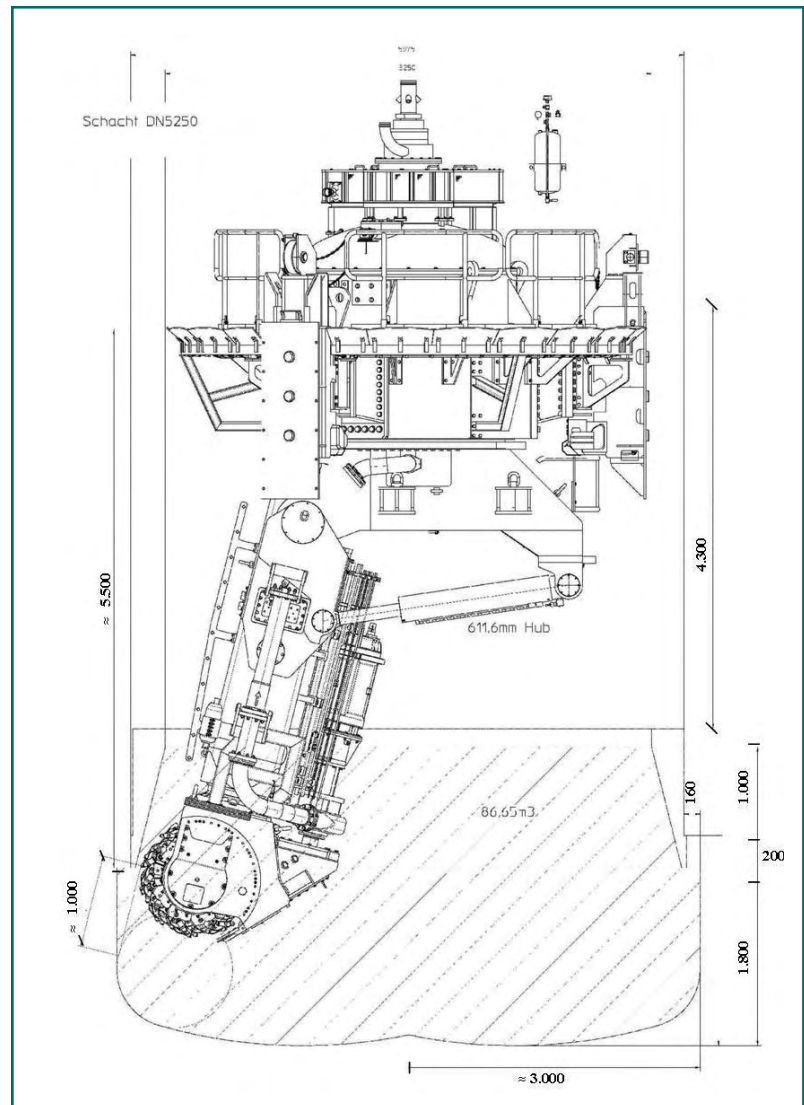


Fig. 9.
 Dimensionamiento del tapón de fondo en un pozo de $\varnothing_{int}=5,25$ m /
 Sizing of the bottom plug in a shaft of $\varnothing_{int}=5,25$ m.

■ Process

- Excavation/Lining of the Shaft/Bottom plug and ground plate.

f) The basis for the process is the operation of the "vsm" using remote control, maintaining the excavation flooded (preferably, with low density clayey slurry) and ensuring the site/lining separation so that a dense bentonite slurry is added (injected by the ring of no.1 or 2 of the bottom of the lining) which also serves as the redundant system for the correct positioning of the lining which is driven as the excavation is carried out. See figure 7.

g) The process includes the "vsm" maintenance operations for which the latter is extracted as far

arcillosos de baja densidad) y asegurando la separación terreno/ revestimiento, para lo que se añade un lodo bentonítico denso (inyectado por el anillo nº 1 ó 2 del fondo del revestimiento) que sirve además como sistema redundante del correcto posicionamiento del revestimiento que se va hincando según se excava. Ver figura 7.

- g) El proceso incluye las operaciones de mantenimiento de la "vsm" para lo cual ésta se extrae hasta el brocal del pozo, con tres grúas auxiliares del elevación. Ver Figura 8.
- h) El tratamiento de la mezcla de lodo y terreno excavado en la planta de separación permite recuperar el escombros, salvo los finos que se llevan a depósitos fijos (o containers) o bien a una planta de filtros-prensa.
- i) Por último, el transporte a vertedero en camión incluye tanto el escombros como los finos desecados.

- j) Una vez alcanzada la cota calculada para el tapón de hormigón en masa sumergido (cuyo objetivo es facilitar el hormigonado en seco de la solera de proyecto), se retira la máquina y, con el Pozo todavía inundado, se coloca el hormigón sumergido de dicho tapón.

- k) En general se calcula el espesor del tapón para que resista la subpresión teniendo en cuenta el efecto estabilizador del revestimiento prefabricado ya que la excavación para el tapón debe sobresalir unos 0,50 – 0,80 m del perímetro interior del "anillo cero".

Con ello se logra que sea suficiente generalmente un espesor de unos 3 m como máximo para pozos de hasta 60 m. Ver Figura 9.

- l) El cálculo se debe hacer con un HM-30 como mínimo.
- m) Una vez fraguado el tapón (plazo ≈ 3 semanas) se retira la máquina y se vacía el Pozo para construir la solera definitiva.
La solera definitiva suele ser una losa de H.A. unida a los elementos metálicos del "anillo cero".
- n) Si no hay subpresión, basta hacer una presolera de H.M. para regularizar el fondo del Pozo. Sobre ella se hormigona la solera definitiva.
- o) Por último, se procede a inyectar mortero o lechada espesa a presión por los orificios inferiores

as the shaft curb with three auxiliary raising cranes. See Figure 8.

- h) The treatment of the mixture of slurry and excavated earth in the separation plant allows the recovery of debris, except for the fines which are taken to fixed tanks (or containers) or to a filter press plant.
- i) Finally, transport to a dump in a truck includes both the debris and the desiccated fines.

- j) Once the elevation calculated for the submerged mass concrete plug (whose objective is to facilitate the dry concreting of the project ground plate), the machine is removed and, with the shaft still flooded, the submerged concrete of said plug is placed.

- k) Generally speaking, the thickness of the plug is calculated so as to withstand the upward pressure, bearing in mind the stabilising effect of the prefabricated lining as the excavation for the plug should protrude around 0.50 – 0.80 m from the interior perimeter of the "zero ring".
In this way it is managed to ensure that a thickness of around 3 m at the most is sufficient for shafts of up to 60 m. See Figure 9.

- l) The calculation shall be carried out with an HM-30 as a minimum.

- m) Once the plug has been set (timeframe ≈ 3 weeks), the machine is removed and the Shaft is emptied to construct the final Ground plate.
The final ground plate shall be an RC slab joined to the metallic elements of the "zero ring".

- n) If there is no upward pressure, only a mass concrete substructure is needed to even out the bottom of the Shaft. The final ground plate is concreted thereupon.

- o) Finally, mortar or thick grout is injected under pressure via the lower holes whereby the bentonite slurry has been introduced for its replacement.
The slurry leaves by overflow between the ring of the curb and the ground, whereby its total replacement is perfectly controlled.

The Process-related timeframes can be established, generally speaking, in accordance with the average performances set out below:

por donde se ha introducido el lodo bentonítico, para su sustitución.

El lodo va saliendo por rebose entre el anillo del brocal y el terreno, con lo que se controla perfectamente su total sustitución.

Los plazos relativos al Proceso pueden establecerse, en líneas generales, de acuerdo con los rendimientos medios siguientes:

– Excavación y revestimiento⁽³⁾

En suelos y rocas blandas ($RCS < 40$ MPa): 1,25 m-1,5 m por turno largo de trabajo

En rocas de dureza media: 0,75 m-1,30 m por turno largo de trabajo

– Tapón de fondo y desagüe: 3 a 4 semanas

■ **Retirada de obra (Desmovilización)**

p) El desmontaje de la máquina es el trabajo principal de la Desmovilización.

Debe estudiarse de forma que la carga de las diferentes partes pueda hacerse lo más directamente posible sobre el vehículo de transporte hasta la zona de almacenaje.

q) Los trabajos restantes son: Desmontaje de la Planta de separación, Containers o Planta de filtros, Gatos principales y grúas y Estructuras prefabricadas (Almacén, Oficina, Caseta de mando, etc).

El plazo para la Desmovilización puede ser del orden de 1 mes, en situaciones normales de ubicación, espacio disponible y carga de las grúas.

2.2. Instalaciones en condiciones especiales

En algunos casos, casi siempre en zonas urbanas, hay que diseñar unas Instalaciones específicas de obra en unas condiciones complicadas, debidas a la peculiaridad del entorno y/o a las características del Proyecto.

Últimamente, se han montado Instalaciones de estas características para construir algunos Pozos de ventilación y Salida de emergencia del Metro de Nápoles (6), situados en zonas antiguas de la ciudad, con calles muy estrechas. El mismo problema se nos había presen-

– Excavation and lining⁽³⁾

On soft rocks and soils ($RCS < 40$ MPa): 1,25 m-1,50 m per long work shift

On rocks of medium hardness: 0,75 m-1,3 m per long work shift

– Bottom plug and drainage: 3 to 4 weeks

■ **Removal of works (Demobilisation)**

p) The dismantling of the machine is the main task of the Demobilisation.

It should be studied in such a way that the load of the various parts can be carried out as directly as possible on the transport vehicle to the storage area.

q) The other works are: Dismantling of the separation Plant, Containers or Filters Plant, Main jacks and cranes and prefabricated Structures (Warehouse, Office, Command room etc.).

The Demobilisation timeframe may be around 1 month under normal conditions in terms of location, available space and load of the cranes.

2.2. Installation under special conditions

In some cases, nearly always in urban areas, specific works Installations have to be designed under complicated conditions in view of the specific nature of the environment and the characteristics of the Project.

Installations endowed with these characteristics have been assembled recently in order to construct some ventilation and Emergency exit shafts on the Naples underground (6), situated in old areas of the city with very narrow roads. The same problem had faced us in the case of Shafts for compensation Injections to be undertaken for the pitch of the Tunneller GERUNDA which will excavate Tunnel No.2 of the High-speed Line Barcelona-French Border under the city of Gerona.

In these cases, it is almost always necessary to concentrate the Installations which serve more than one shaft in a single complex from which the hydraulic outward and return piping develop along the streets, duly protected (and with protections, in

(3) Se supone un turno largo de trabajo más un segundo turno para mantenimiento.

(3) A long work shift is assumed, plus a second shift for maintenance.

tado en el caso de los Pozos para Inyecciones de compensación a realizar para el paso de la Tuneladora GERUNDA que excavará el Túnel N°2 de la L.A.V. Barcelona-Frontera Francesa, bajo la ciudad de Gerona.

En tales casos, casi siempre es obligado concentrar las Instalaciones que sirven a más de un pozo en un solo complejo, desde el que las conducciones hidráulicas de ida y retorno se desarrollan por las calles, debidamente protegidas (y con protecciones, a su vez, para el tránsito de peatones que deba mantenerse), hasta llegar a los distintos brocales de los pozos.

Ahora bien, aunque no se den las condiciones mencionadas, puede ser de interés en algunos casos tomar la misma decisión de concentrar en un solo punto las instalaciones para dar servicio a más de un pozo, siempre que las distancias lo permitan, con el fin de reducir los plazos y costes de ejecución.

En resumen, debe señalarse la versatilidad que ofrecen las "vsm's", al poder concentrar las instalaciones de varios pozos, sea para resolver casos de difícil implementación, sea por motivos económicos, al mejorar plazos y costes.

Y, una vez dicho esto, en lo que sigue se describe, como ejemplo, el diseño al que hubo que recurrir en el caso de Gerona.

■ Características del proyecto

Los pozos se proyectaron en una zona residencial antigua de la ciudad, en la que la anchura de las calles es del orden de los 7 m, incluidas las aceras. Debido a ello se eligió un diámetro interior de 5,25 m que es el mínimo posible con "vsm's" "HERRENKNECHT" de tipo convencional.

Los pozos tienen una profundidad de entre 16 y 20 m bajo el pavimento de las calles y los terrenos en las 4 obras son suelos blandos saturados (NF a unos 5 m de profundidad) de tipo arcilloso-arenoso con niveles de gravas de un tamaño máximo de 90 mm, con presencia errática de algunos bolos de tamaño mayor.

■ Diseño de las instalaciones

Las principales características del área urbana de la ciudad que condicionaron el diseño, construcción y explotación de las Instalaciones fueron las siguientes:

turn, for the thoroughfare of pedestrians which shall be maintained) until reaching the different shaft curbs.

Now, although the aforementioned conditions are not the case in point, it may be of interest in some cases to take the same decision to concentrate at just one point the installations to serve more than one shaft, whenever the distances so allow, with a view to reducing the implementation timeframes and costs.

In summary, it should be pointed out that the "vsm" offer versatility as they can concentrate the installations of several shafts, either to resolve cases which are hard to implement or for economic reasons, improving timeframes and costs.

With this in mind, below a description has been provided, by way of example, of the design which had to be deployed in the case of Gerona.

■ Characteristics of the project

The shafts were projected in an old residential area of the city in which the width of the streets is around 7 m, including the pavements. For this reason an interior diameter of 5.25 m was chosen which is the minimum possible with conventional HERRENKNECHT "vsm's".

The shafts are between 16 and 20 m deep under the paving of the streets and the sites at the 4 works are saturated soft soils (GW at around 5 m deep) of the sandy-clayey type with aggregate levels with a maximum size of 90 mm, with erratic presence of boulders of bigger size.

■ Design of the installations

The main characteristics of the urban area of the city which affected the design, construction and operation of the Installations were as follows:

- *Owing to the small dimensions of the streets, it was not possible to assemble in the proximity of each shaft the following equipment:*

- a) The separation plant for debris and clayey slurry for excavation.*
- b) The clayey-slurry tanks, both that of "fresh Bentonite" (with its dosing/manufacturing*

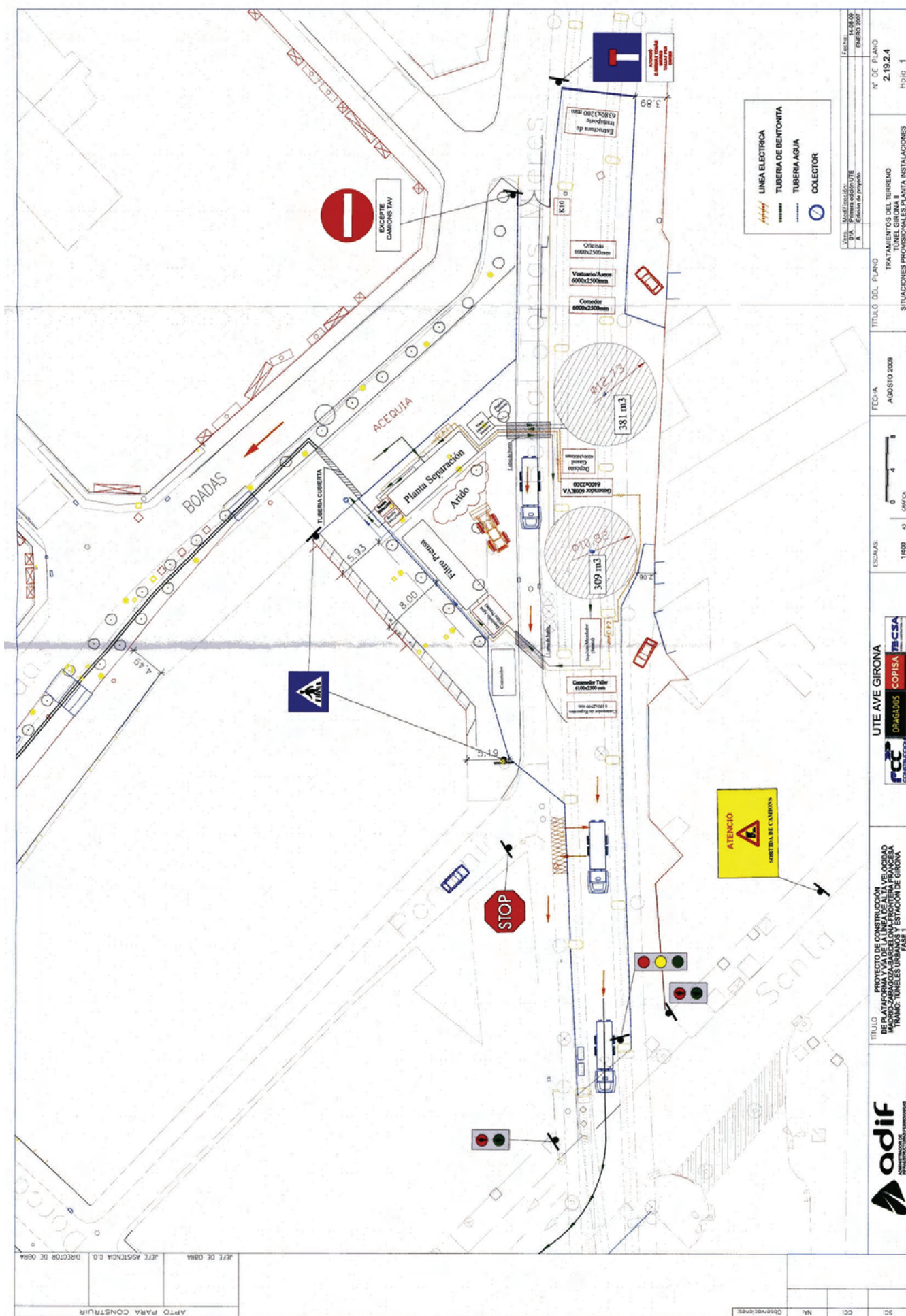
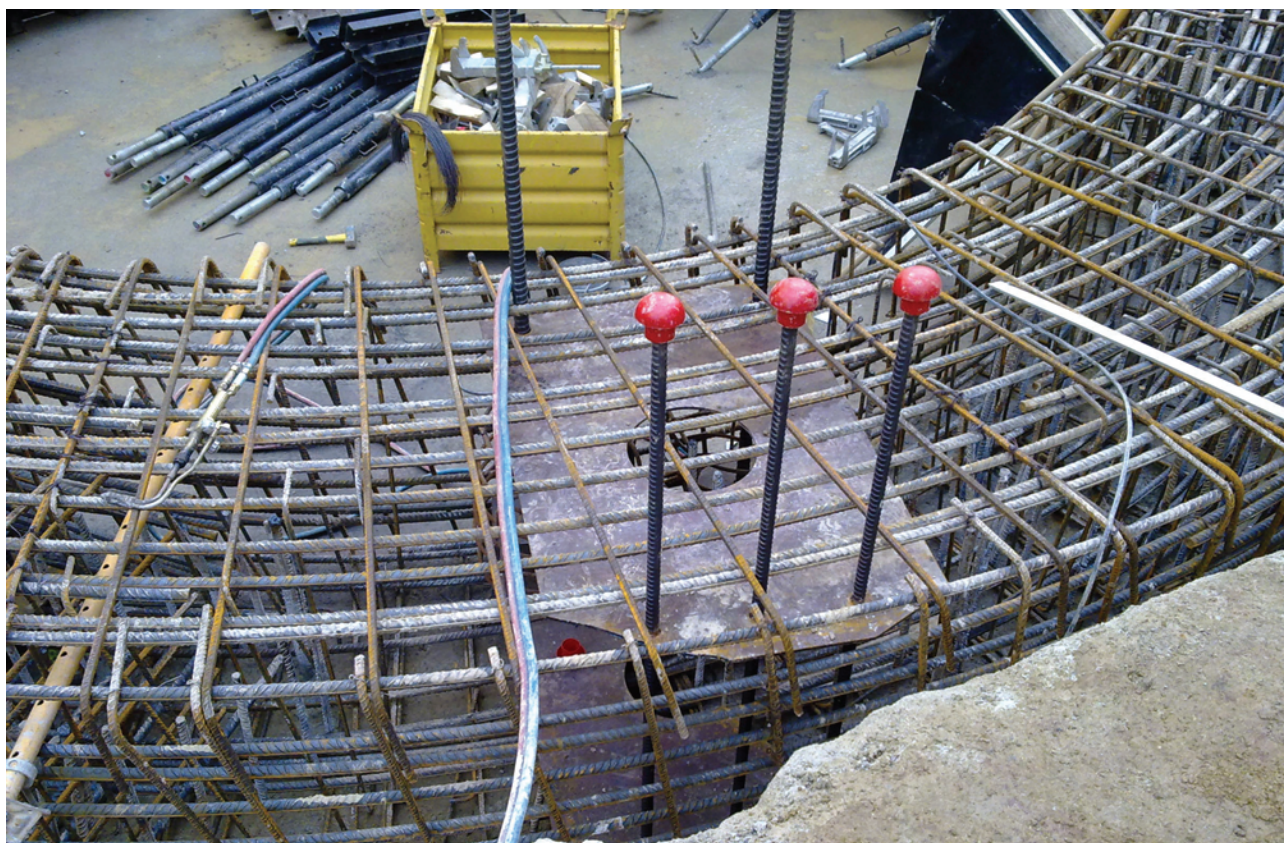


Fig. 10. Concentración de las instalaciones para la construcción de los 4 Pozos/Concentración of the Installations for the construction of the 4 Shafts.

Fig.11. Vista general y detalle de la viga de atado de los pilotes que sirven de cimentación general de las instalaciones de cada pozo (Gerona)/
Overview and detail of the tie beam of the piles which serve as the general foundations of the installations of each shaft (Gerona).



- Debido a las dimensiones reducidas de las calle, no era posible montar en la proximidad de cada pozo los equipos siguientes:
 - a) La planta de separación del escombros y del lodo arcilloso para la excavación.
 - b) Los depósitos de lodo arcilloso, tanto el de "Bentonita fresca" (con su equipo de dosificación /fabricación) como el de "Bentonita residual contaminada" (con su Planta de filtros-prensa⁽⁴⁾).
- Dada la poca profundidad de los 4 pozos tampoco hubiera sido lógico montar instalaciones en la proximidad de cada pozo.
- c) En consecuencia, la solución consistió en concentrar en un único espacio disponible, aunque limitado, todas estas instalaciones a las que se unieron un grupo electrógeno de 1.500 kW, el Almacén principal, los Vestuarios y aseos para el personal, etc. Todo esto se ve en la figura 10 de la página siguiente.
- d) La solución obligó a un reparto de tuberías a lo largo de las calles, hasta cada uno de los pozos, lo que precisó el establecimiento de un amplio acuerdo con la Municipalidad, que se extendió a una serie de importantes aspectos que afectaron a la ejecución de la obra, como fueron, por mencionar los principales:
 - Sustitución de los servicios afectados.
 - Desvíos de tráfico.
 - Protecciones anti ruido. (Planta de separación)
 - Solución de aparcamiento para los residentes afectados que tuviesen permiso de estacionamiento.
 - Horario de actividad del turno largo de trabajo diario, etc.
- En la proximidad de cada uno de los pozos, se montaron exclusivamente:
 - La cabina de mando y control de la "vsm".
 - Un grupo electrógeno de 1.250 kVA.

(4) En la planta de filtros-prensa se decidió eliminar todo el material sólido en su conjunto (bentonita residual, limos, materia orgánica, etc) renunciando a recuperar por separado la bentonita porque su escasa proporción en la mezcla no lo justificaba.



Fig.12. Viga de atado de los pilotes y cimentación de la "cadena" de conductos de la "VSM" en Gerona/Tie beam of the piles and foundations of the "chain" of pipes of the "VSM" in Gerona.





Figura 13.- Vista general de uno de los Pozos de Gerona. Colocación de las piezas de apoyo de la máquina/Overview of one of the Shafts in Gerona. Placement of the parts supporting the machine.

- Una bomba de alta presión intercalada en el circuito de "Bentonita fresca" para limpiar el tambor del cabezal de corte en caso de excavar arcillas de alta pegajosidad.
- El equipo de fabricación de lodo bentonítico denso, para lubricación del "gap" terreno/revestimiento.

■ Trabajos previos y montaje de la máquina

• Trabajos previos

Las características desfavorables del terreno (suelos saturados) no permitían aplicar métodos convencionales más que para excavar unos 4 m por encima del freático, lo que hizo muy ajustado seguir el proceso habitual.

equipment) and that of "residual contaminated Bentonite" (with its filter press⁽⁴⁾).

- In view of the shallow depth of the 4 shafts, neither would it have been logical to assemble installations in the vicinity of each shaft.

c) As a consequence, the solution consisted of concentrating in a single space available, though limited, all of these Installations to which an 1,500 kW electrogeneous unit was joined as well as the main Warehouse, the Changing Rooms and sanitary facilities for staff etc. All this can be seen in figure 10 of the page below.

d) The solution required a distribution of piping along the streets to each of the shafts which required the establishment of a broad agreement with the Local Council involving a series of important aspects which affected the implementation of the works, such as, by way of example, the following:

- Replacement of the services concerned.
- Traffic diversions.
- Noise proof protections. (Separation plant).
- Parking solution for the residents concerned who have had permission to park.

(4) In the filter press plant it was decided to eliminate all solid material as a whole (residual bentonite, silt organic matter etc), resolving not to recover the bentonite separately because its scarce proportion in the mix would not justify this).



Figura 14.- Excavación de un pozo (Gerona)/Excavation of a shaft (Gerona).

Por otra parte, no era posible aplicar diseños convencionales a la cimentación de los gatos de sustentación y de las grúas de izado, por todo lo cual se decidió construir una estructura de pilotes que trabajan por rozamiento del fuste y cuya viga de atado anular sirvió de cimentación general de las Instalaciones (Ver figuras 11 y 12).

- Montaje de la "vsm"

Como ya se ha indicado, tanto la construcción de las Instalaciones, como los Trabajos previos hubieron de hacerse en condiciones muy desfavorables que se reflejan en las Figuras 13 y 14, debidas a la limitación extraordinaria del espacio de manobra. Otro ejemplo del Metro de Nápoles (6) se ve en la Figura 15.

Las dificultades para el Montaje de la Máquina fueron, si cabe, aún más desfavorables por las limitaciones impuestas al trabajo de las grúas móviles, debido a la necesidad de trabajar en espacios confinados entre los edificios y, en algún caso, a la existencia de sótanos bajo las calles, que obligaron a reducir notablemente las cargas.

La máquina hubo de montarse en tres partes: primero el brazo excavador y a continuación el resto de la "vsm" sin tuberías para, finalmente, conectar los conductos desde la cadena a la máquina, por una parte, y a las tuberías que, apoyadas en el pavimento de las calles, se montaron desde cada Pozo hasta las Instalaciones generales.

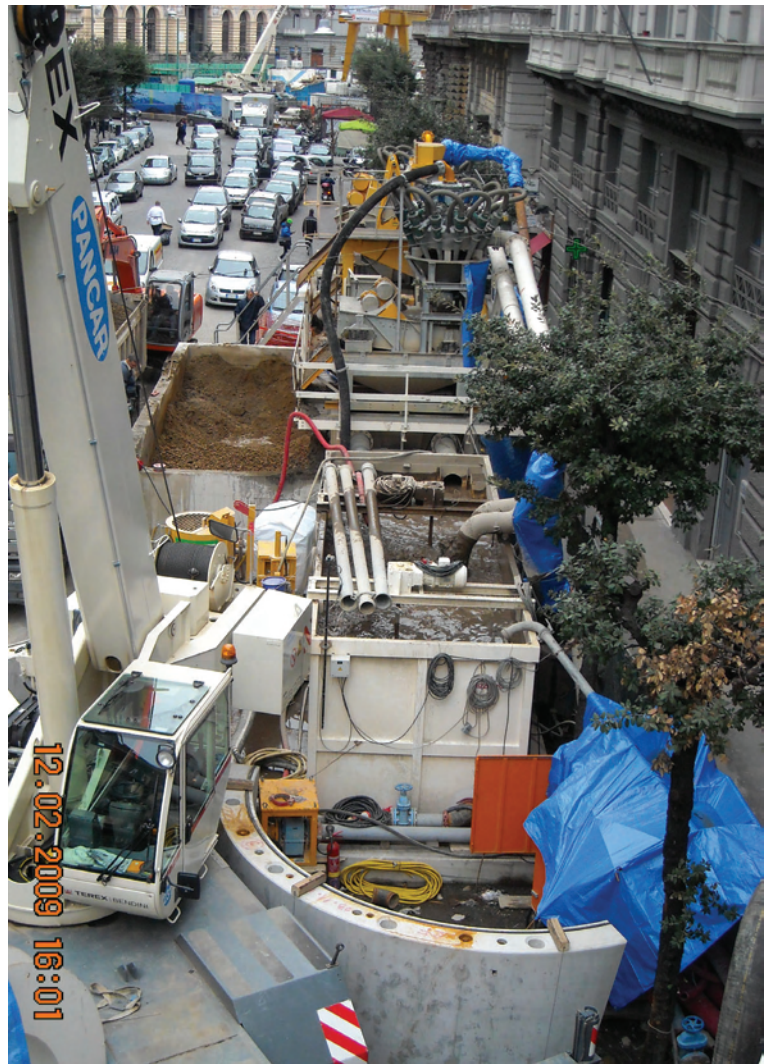


Figura 15.- Vista general de uno de los Pozos del Metro de Nápoles/
 Overview of one of the Shafts of the Naples Underground.

3. Excavación en roca con máquinas "VSM"

Este apartado se refiere a dos temas concretos;

- La excavación de Pozos con "vsm" en rocas duras bajo carga de agua, y
- La excavación con "vsm" de pozos o de destrozados de pozos piloto en roca, sin carga de agua.

3.1. La excavación en pozos con "VSM" en rocas duras con carga de agua

Hasta el momento presente, la experiencia permite decir que en formaciones de rocas masivas con grado de alteración I o II, las máquinas "vsm" pueden excavar con rendimientos aceptables (1y 2

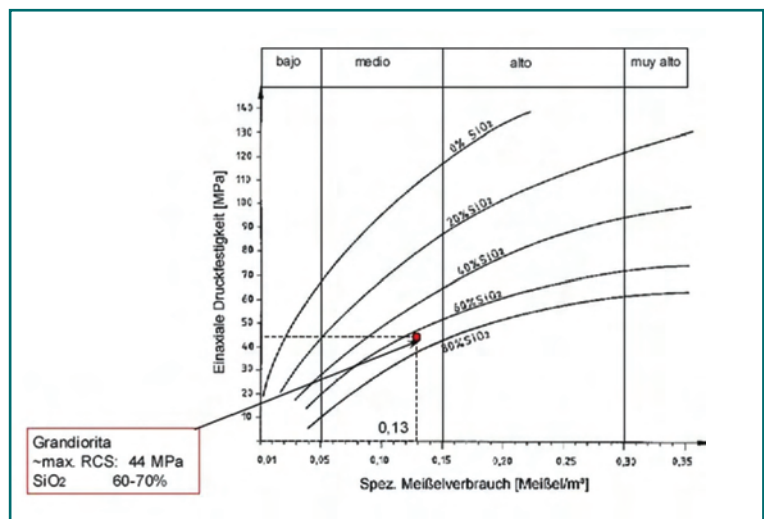


Fig. 16. Estimación del desgaste de herramientas/Estimate of the wear and tear of tools.

m día en un turno largo, para pozos de $\varnothing_{int}$ 9 m) hasta valores de la Resistencia a Compresión simple (RCS) de la roca del orden de los 40 MPa. El revestimiento se reduce en un 25% a 35% en rocas de RCS entre 40 y 60 MPa.

Sobre este particular, debe tenerse en cuenta que una cosa es la abrasividad de la roca que, aun con cifras muy elevadas no afecta a la excavabilidad, si bien obliga a un alto consumo de herramientas, y otra la RCS de la roca masiva, que es la que afecta básicamente a la excavabilidad con las "VSM" modernas.

Un ejemplo es el representado en el ábaco de la Figura 12, que corresponde a un caso real concreto (Granodiorita con una RCS de 44 MPa y un contenido en sílice del 60-70%).

Pero, al igual que sucede con las rozadoras, las "VSMs" (que, al fin y al cabo utilizan sistemas de corte típicos de dichas máquinas) pueden excavar rocas duras siempre que existan fenómenos de alteración que ofrezcan zonas débiles en el macizo de una roca base de alta resistencia. Y esto puede ser debido a:

- Espesores reducidos de las capas o estratos en el caso de rocas sedimentarias, o metasedimentarias.
- Un estado de fragmentación general de la roca dura o presencia de intercalaciones de roca dura o muy dura en la roca base de dureza media o medio-baja, en forma de filones o venas, etc., todo lo cual puede resumirse como un grado general de alteración III o mayor.

Pues bien, a título de ejemplo, se expone seguidamente el caso de uno de los Pozos de Ventilación y Salida de emergencia de $\varnothing_{int}$ = 9,00 m, del túnel de TRINIDAD-MONTCADA, para el ferrocarril de la L.A.V. Barcelona - Frontera francesa construido con una "VSM" HERRENKNECHT de tipo convencional.

■ Pozo N° 3 (Túnel Trinidad-Montcada)

Los trabajos de excavación y revestimiento con anillos de dovelas prefabricadas de HA del Pozo se iniciaron el día 18 de Junio y se terminaron el día 2 de Octubre de 2009. En dicho plazo se incluyen dos paradas prolongadas de un total de unos 20 días, en los que se reparó una avería sufrida en el circuito hidráulico, y se hizo el cambio de la cabeza de sue-

- Activity working hours of the long work shift etc.

- In the vicinity of one of the shafts the following were exclusively assembled:

- The "vsm" command and control cabin.
- A 1,250 kVA electrogeneous unit.
- An interim high pressure pump on the "fresh Bentonite" circuit to clean the drum of the cutting drum in the event of excavating very sticky clays.
- The dense bentonite slurry manufacturing equipment for the lubrication of the site/lining "gap".

■ Prior works and assembly of the machine

- Prior works

The unfavourable characteristics of the site (saturated soils) did not allow conventional methods to be applied except to excavate around 4 m above the groundwater making it very tight to follow the usual process.

On the other hand, it was not possible to apply conventional designs to the foundations of the support jacks and the raising cranes, so it was decided to construct a structure of piles which work by rubbing the shaft and whose annular tie beam served as the general foundation of the Installations (See figures 11 and 12).

- Assembly of the "vsm"

As has already been indicated, both the construction of the Installations as well as the prior Works have had to be carried out under very unfavourable conditions which are reflected in Figures 13 and 14, owing to the extraordinary limitation of the maneuvering space. A further example on the Naples Underground (6) is shown in Figure 15.

The difficulties for Machine Assembly were, if possible, even more unfavourable owing to the limitations imposed upon work of the travelling cranes owing to the need to work in confined spaces between buildings and, in any case, the existence of cellars under the streets which meant the loads had to be considerably reduced.

The machine had to be assembled in three parts: firstly, the excavating arm and then the rest of the

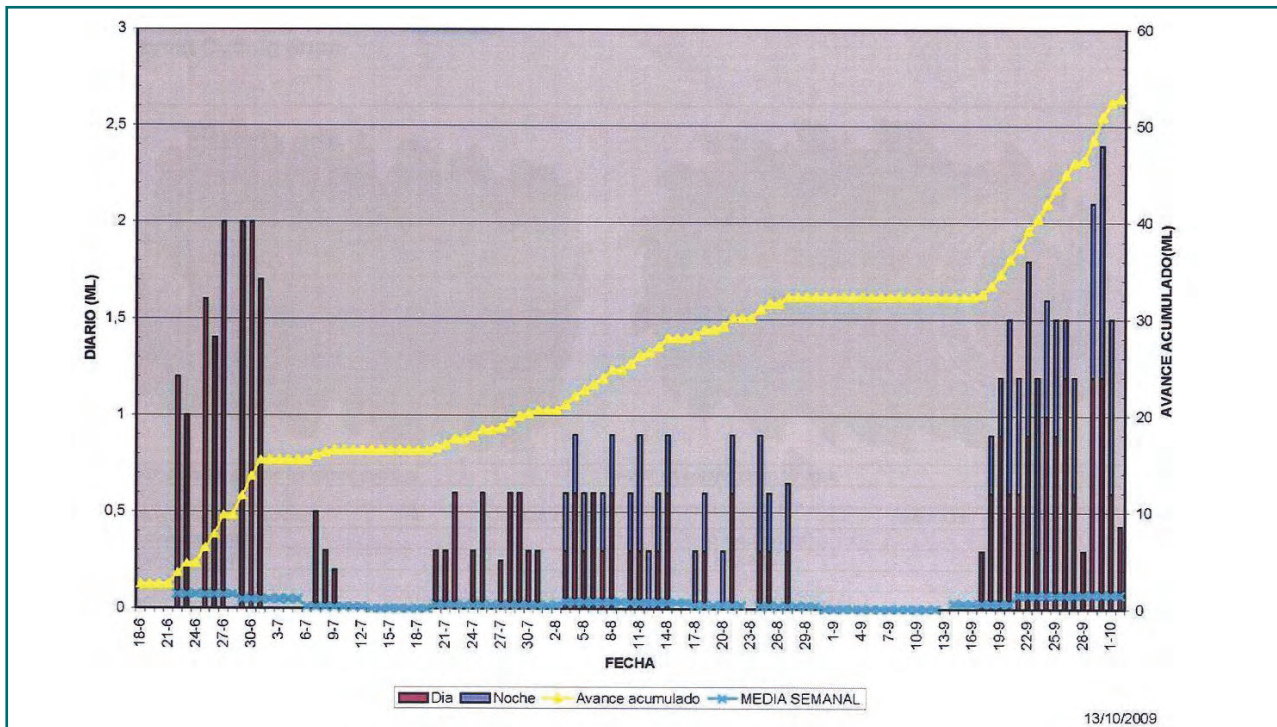


Fig.17. Avances diarios de construcción / Daily construction progress.

los por la cabeza de roca. En la figura 17 se pueden ver los avances diarios conseguidos.

a) Descripción del macizo

El perfil geológico del Pozo presentó unos 14 m en acarreo del aluvial del río Besós, y los restantes 40 m, hasta la profundidad total excavada de 54 m, trascurrieron en pizarras de una matriz de dureza media, que presentaba diques centimétricos de alta dureza o capas decimétricas de roca dura o muy dura. Nivel freático a 10 m de la superficie.

De acuerdo con las muestras obtenidas en los dos sondeos previos de 55 m de profundidad, perforados en la proximidad del pozo y separados entre sí 20 m, las pizarras se describieron como sigue: Pizarras grises separadas en tramos según sus diferentes índices RQD, variable entre 50 y 100%. Se encuentran atravesadas sistemáticamente por venas pegmatíticas (de composición cuarzo-cristalina) de espesores entre milimétricos y centimétricos y longitud de hasta 10 m. La frecuencia con que aparecen estos filones de cuarzo a lo largo de la profundidad de los sondeos es variable, con distancias entre ellos desde pocos centímetros a pocos metros. Las mayores densidades se encuentran entre los 24 - 25 m., 28 - 33 m. y 52 - 54 m. en el sondeo 2. En el sondeo 1

"VSM" without piping to, finally, connect the pipes from the chain to the machine, and to the piping which, supported on the street paving, were assembled from each Shaft as far as the general Installations.

3. Excavation in rock with "VSM" machines

This section refers to two specific themes:

- The excavation of Shafts with "VSMs" in hard rocks under water load, and
- The excavation with "VSMs" of shafts or bench excavation of pilot shafts in rock, without water load.

3.1. The excavation of shafts with "VSM" in hard rocks under water load

Up to the present time experience dictates that in massif rock formations with an alteration grade I or II, the "VSM" machines can excavate with acceptable performance (from 1 up to m/day on a long shift for shafts of $\varnothing_{int}$ 9 m) up to residual compressive strength (RCS) of the rock of around 40 MPa. The performance is reduced by around 25% to 35% in rocks with an RCS of between 40 and 60 MPa.

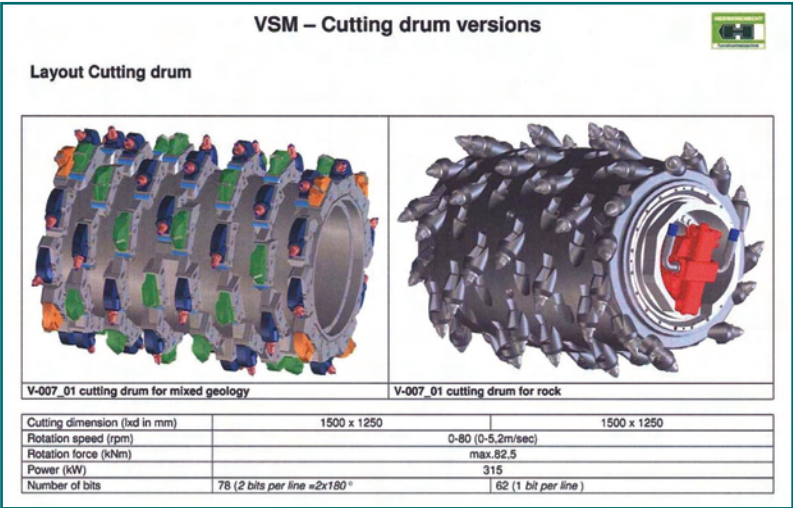


Fig. 18. Las dos versiones del cabezal de corte/
The two versions of the cutting drum.

estos filones aparecen con densidad mayor en los tramos 26 - 27 m., 33 - 34 m, 41 - 43 m y 47 - 51 m.

Además, según el sondeo 1, a 49 m. de la superficie aparece un dique pegmatítico fracturado de espesor excepcional de 1,80 m. Este dique no tiene continuidad o no aparece en el otro sondeo.

Generalmente, y debido a su génesis estos diques pegmatíticos son geométricamente tabulares (su espesor es proporcionalmente mucho menor que el resto de las dimensiones) siguiendo un plano de discontinuidad de la roca y pueden alcanzar grandes longitudes.

b) Ejecución de la obra

El avance en los suelos del aluvial no presentó problema alguno. Como puede verse en la Figura 13 el rendimiento medio fue del orden de los 1,5 metros/día trabajando a 1 solo turno, debido a que el pozo está en pleno núcleo urbano de MONTCADA Y REIXAC.

Por el contrario, el avance en roca con el cabezal de corte convencional fue muy inferior al anterior. Además, las reposiciones de picas excesivamente frecuentes, y algunas averías en los circuitos hidráulicos de la máquina, motivaron paradas, algunas prolongadas, que llevaron el rendimiento medio a cifras por debajo de 1 m/día, a pesar de haber organizado un segundo turno para atender revisiones y reparaciones.

El trabajo en roca con el cabezal ordinario produjo vibraciones y esfuerzos de tracción que se confirmó eran la causa de la rotura de los portaherramientas (fijados por tornillos al cabezal) lo que obligaba a la reposición de herramientas, aunque éstas no presentasen desgastes que lo justificase.

In this regard, it should be borne in mind that it is one thing having rock abrasiveness which, even with very high figures, does not affect excavability, though it requires a high consumption of tools, but the RCS of massif rock is something else which is that which affects excavability with the modern "VSM".

An example is that shown in the graph of Figure 12 which corresponds to an actual concrete case (Grandiorite with an RCS of 44 MPa and a silicon content of 60-70%).

But, as occurs with the cutting machines, the "VSMs" (which, basically use typical cutting systems of said machines) may excavate hard rocks whenever there are alteration phenomena which afford weak areas in the massif of a basic rock with high resistance. And this may be due to:

- Reduced thicknesses of the layers or strata in the case of sedimentary or metasedimentary rocks.
- A state of general fragmentation of the hard rock or the presence of hard or very hard rock intercalations in the basic rock of medium or medium-low hardness in the form of seams or veins etc., all of which can be summarised as a general alteration grade III or greater.

By way of example, below there is a description of the case of one of the Ventilation and Emergency Exit Shafts of $\varnothing_{int} = 9.00$ m of the TRINIDAD-MONTCADA tunnel for the Barcelona-French border High-speed railway line constructed with a conventional type "HERRENKNECHT" "VSM".

■ Shaft n°.3 (Trinidad-Montcada tunnel)

The works on excavation and lining with prefabricated RC dowel rings commenced on June 18th and finished on October 2nd 2009. Said timeframe includes two prolonged stoppages for a total of around 30 days during which a malfunction was repaired suffered on the hydraulic circuit and the soils drum was replaced with a rock drum. Figure 17 shows the daily advances achieved.

a) Description of the massif

The geological profile of the Shaft presented around 14 m in secondary soil from the alluvium of the River Besós and the other 40 m up to a total excavated

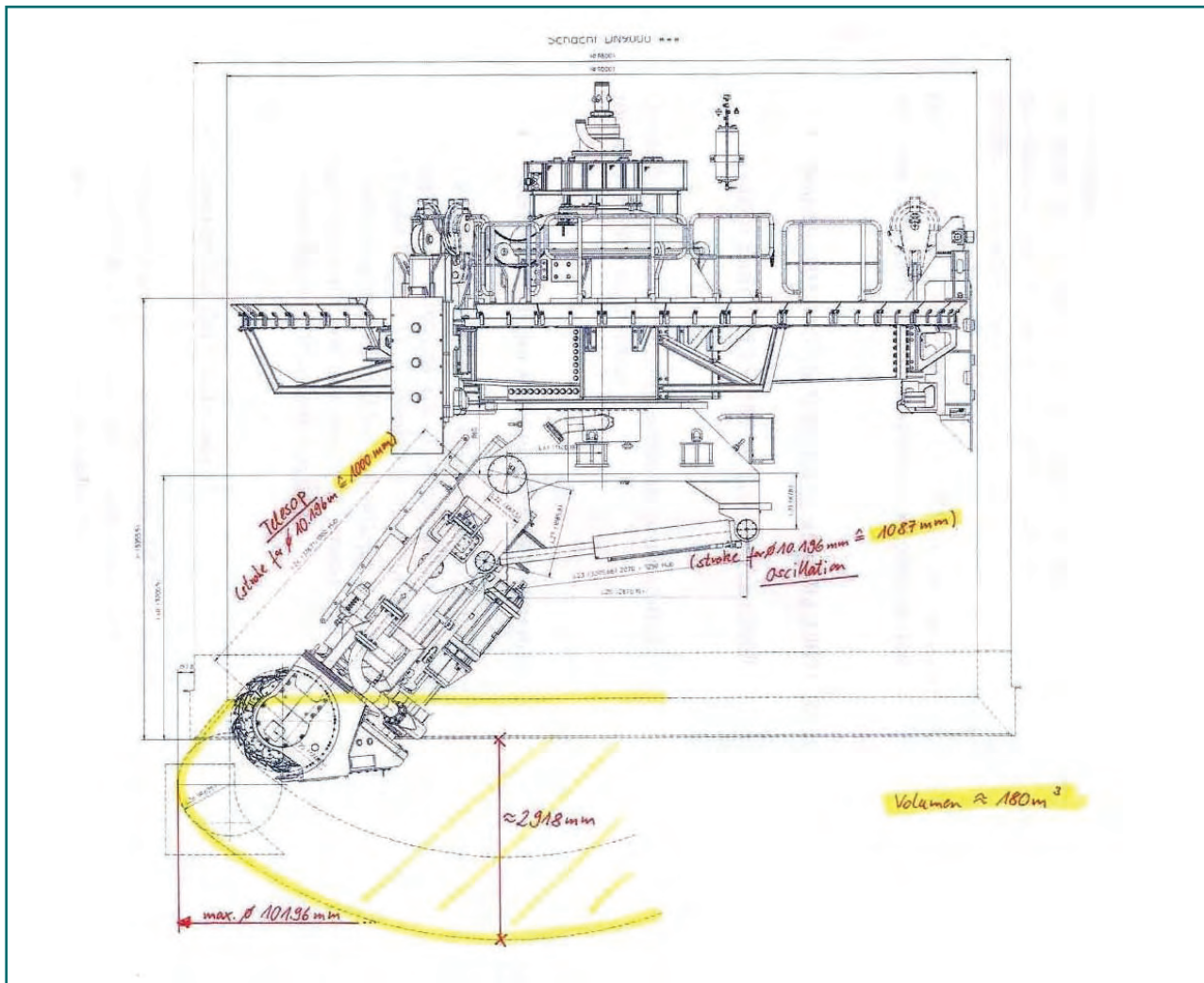


Fig. 19.
Excavación
del tapón
de fondo/
Excavation of
the bottom plug.

Esta situación recomendó diseñar un nuevo cabezal para roca que puede verse en la Figura 18 siguiente, en la que aparece también el cabezal convencional. Además de montar un tipo de picas más robustas, estas quedan embutidas en el portapicas fijado sólidamente al tambor⁽⁵⁾.

Una vez reanudado el avance con el nuevo cabezal diseñado para este tipo de roca el avance hasta la terminación del Pozo fue del orden de los 2,50 m/día trabajando a doble turno, como puede verse en la Figura 17.

Una vez terminada la excavación se procedió al hormigonado bajo el agua del tapón de fondo de hormigón en masa, para soportar la subpresión y poder vaciar el pozo y hormigonar la solera definitiva.

(5) En caso de presencia abundante de bolos puede convenir también usar este tipo de cabezal.

depth of 54 m were made up of shale of medium with a matrix of medium hardness which had centimetric dykes of great hardness or decimetric layers of hard or very hard rock. Water table: 10 m below the surface.

According to the samples obtained in the two prior probes 55 m deep, perforated in the vicinity of the shaft and interspersed at 20 m, the shale was described as follows: grey shale separated in segments according to their various RQD indices, variable at between 50 and 100%. They are systematically crossed by pegmatitic veins (of quartz-crystalline composition) of thicknesses running into millimetres or centimetres and a length of up to 10 m. The frequency with which these quartz seam appears during the course of the depth of the probes is variable with distances between each other from a few centimetres to a few metres. The highest densities fall between 24 – 25 m, 28 – 33 m and 52 – 54 m in probe 2. In probe 1 these seams appear with a

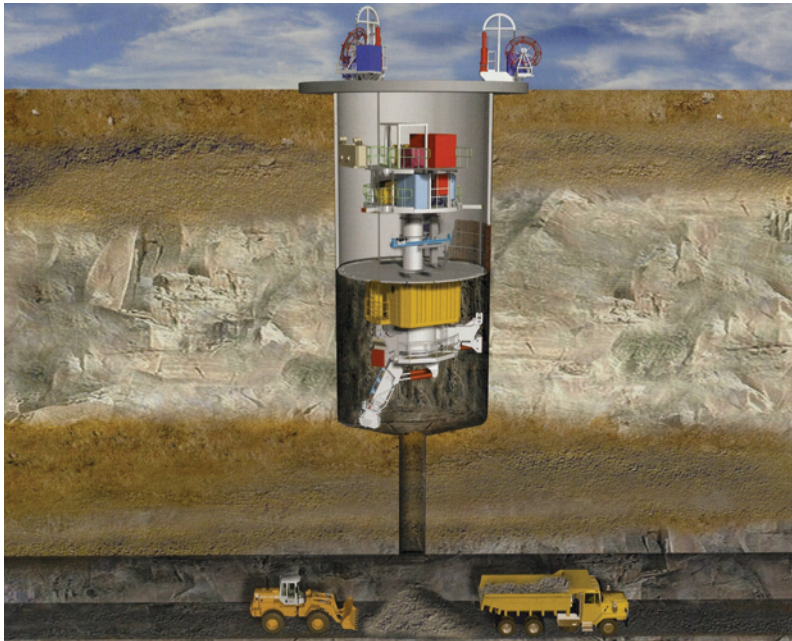


Fig. 20.
Excavación con
"VSM" de una
destroza en
roda/
Excavation with
"VSM" of a bench
excavation in
rock.

La Figura 19 siguiente representa la excavación efectuada para alojar el tapón de fondo.

Para dimensionar el tapón de fondo se tiene en cuenta el peso del revestimiento y la subpresión. Como puede verse en la Figura, la excavación final se ensancha fuera de la sección del revestimiento, con lo que es válida la hipótesis de que el peso de éste es la fuerza estabilizadora y, para pozos en roca de diámetro hasta 10 m, un espesor del tapón del orden de los 2,50 m a 3 m, como indica la Figura, es suficiente para resistir el esfuerzo a cortante que le transmite el revestimiento ya que la subpresión, en pozos en roca, en general es despreciable para el dimensionamiento de un tapón o solera provisional.

Se utilizó un hormigón H-30 y se esperaron 3 semanas para iniciar el desagüe del pozo y preparar el hormigonado de la solera definitiva, todo lo cual puede tomarse como recomendación general.

3.2. La excavación con "VSM" de pozos en roca sin carga de agua

En el año 2003 se fabricó una VSM para excavar pozos en Indonesia, de 2,5 m de diámetro y 100 m de profundidad en calizas cársticas de 50-80 MPa, sin carga de agua (3)(4).

Por otra parte, se pueden preparar máquinas "vsm" para excavar destrozas en rocas duras (RCS = 70-80 Mpa) a partir de un pozo piloto perforado previamente

greater density in 26 – 27 m, 33 – 34 m, 41 – 43 m and 47 – 51 m sections,

Furthermore, according to probe 1, 49 m away from the surface there is a fractured pegmatitic dike with an exceptional thickness of 1.80 m. This dike does not have continuity or does not feature in the other probe.

Generally speaking, and owing to their origin, these pegmatitic dikes are geometrically tabular (their thickness is proportionally much less than the rest of the dimensions) following a rock discontinuity plane and they may attain great lengths.

b) Implementation of the works

The advance in the soils of the alluvium did not present any problem. As can be seen in Figure 13, the mean yield was around 1.5 metres/day working with just 1 shift owing to the fact that the shaft is in the heart of the urban nucleus of MONTCADA and REIXAC.

On the contrary, progress in the rock with the conventional cutting drum was much less than the previous one. Furthermore, the excessively frequent replacements of picks and some malfunctions in the hydraulic circuits of the machine, have brought about stoppages, some of them lengthy, which have led the mean performance to figures of under 1 m/day despite having organised a second shift to deal with revisions and repairs.

The work on the rock with the ordinary drum causes vibrations and tractive efforts which was confirmed were the cause of the rupture of the tool carrier (secured by screws to the drum) which required the replacement of tools though the latter did not present any wear or tear which would justify this.

This situation recommended the designing of a new drum for rock which can be seen in Figure 18 below in which the conventional drum also appears, in addition to assemble a more robust type of picks, the latter are built into the pick holder affixed solidly to the drum (5).

Once the progress with the new drum design for this type of rock was resumed, the progress until termination of the Shaft was around 2.50 m/day working in double shifts as can be seen in Figure 17.

Once the excavation was finished, the concreting was carried out under the water of the

(5) In case of significant presence of boulders it can be interesting to use this type of drum.

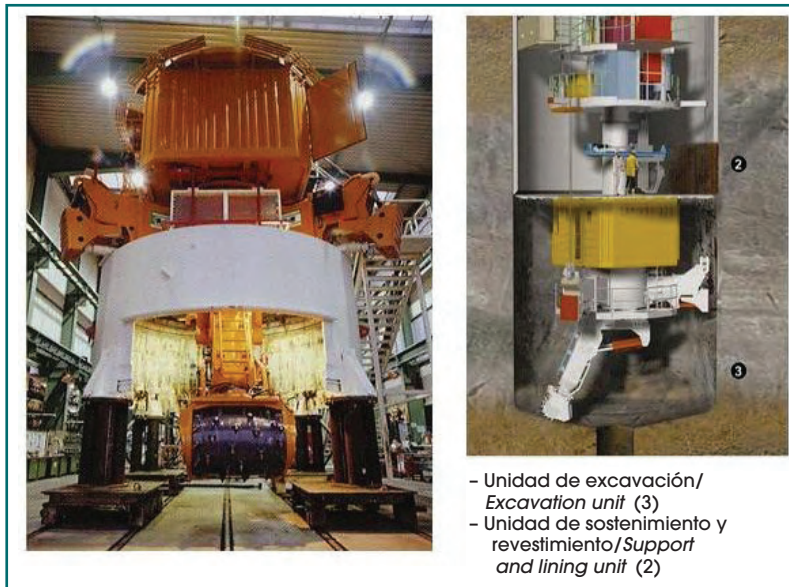


Fig. 21. "VSM"
para destroza en
roca/ "VSM" for
bench excavation
in rocks.

con una "raise borer" ($\varnothing$ 2,40 m). La disposición adoptada (esquema de la Figura 20) se describe seguidamente.

- El conjunto de la máquina, cabina de control, plataforma auxiliar etc. se monta en una estructura única, soportada en este caso por los gatos de sustentación, situados en el brocal.
- El cabezal de la máquina excava la roca en seco, como lo hace una rozadora, añadiendo, en todo caso, una cortina de agua nebulizada para eliminar el polvo. El cabezal tiene un diseño especial para roca (Ver Figura 21).
- Las piezas de soporte de la máquina se acodalan contra la roca, para excavar cada módulo de sostenimiento, en general chapas de acero (tipo "Bernold" o similar), que se colocan manualmente desde la plataforma auxiliar.
- Es posible añadir simultáneamente un revestimiento de hormigón proyectado, realizado desde la misma plataforma, o bien hacerlo por otro método, después de terminada la destroza y una vez retirada la máquina.

De esa forma, una máquina HERRENKNECHT "VSM" 9600 ha hecho una destroza de 160 m de profundidad.

4. Aspectos más significativos de la nueva tecnología

Como comentario final a la construcción mecanizada de pozos con máquinas del tipo "VSM" es de in-

teresa la construcción de un tapón de concreto en el fondo para soportar la presión ascendente y poder vaciar el pozo y concretar la última placa de fondo.

Figure 19 below illustrates the excavation carried out to house the bottom plug.

To size the bottom plug due consideration is given to the weight of the lining and the upward pressure. As can be seen in the Figure, the final excavation expands outside the lining section, making it a valid hypothesis that the weight thereof is the stabilising force and, for shafts in rock with a diameter of up to 10 m, a thickness of the plug of around 2.50 m to 3 m as indicated in the Figure is sufficient to withstand the shear force which the lining transmits to it as the upward pressure in rock shafts, generally speaking, is negligible for the sizing of a plug or provisional ground plate.

H-30 concrete was used and 3 weeks were waited to start the drainage of the shaft and prepare the concreting of the final ground plate all of which can be taken as a general recommendation.

3.2. Excavation with "VSM" of shafts in rock without water load

In 2003 a VSM was built for shafts excavation in Indonesia. A shaft of 2.5 m diameter and 100 m height was excavated in Karstic limestone of 50-80 MPa, without water load (3)(4).

"VSMs" may be also used to carry out bench excavation in hard rocks ($RCS = 70 - 80$ Mpa) from a pilot shaft perforated beforehand using a "raise borer" ($\varnothing$ 2.40 m). The arrangement adopted (diagram in Figure 20) has been described below.

- The totality of the machine, control cabin, auxiliary platform etc. is assembled on a single structure supported, in this case, by the support jacks located at the curb.
- The machine drum excavates the rock without water as a cutting machine does, adding, in each case, a nebulised water curtain to eliminate dust. The drum has a special design for rocks (See Figure 21).
- The support parts of the machine are leant against the rock to excavate each support module, in general steel plates ("Bernold" or similar type) which are placed manually from the auxiliary platform.
- It is possible to simultaneously to add a sprayed concrete lining carried out from the same platform

terés señalar con algún detalle tres aspectos que, en nuestra opinión, representan ventajas muy importantes de la adopción de esta nueva tecnología de construcción de pozos verticales. Son los siguientes: SEGURIDAD EN EL TRABAJO, CALIDAD y CERTEZA DE PLAZOS Y COSTES.

Respecto de la SEGURIDAD EN EL TRABAJO, debe decirse que los Métodos convencionales de construcción de pozos verticales presentan los pésimos escenarios posibles para la seguridad, al tener que trabajar los operarios "en el interior del pozo".

Y esto sucede, tanto si se trata de métodos de "profundización" (que son los más habituales, en los que el trabajo progresa desde arriba hacia abajo), como de "realce" (progreso de la excavación de abajo hacia arriba). En ellos, la posición obligada de los trabajadores en el interior del pozo, supone un alto riesgo debido a la posible caída de útiles, herramientas de trabajo y materiales de construcción, incluso la del propio material que se está excavando, debiendo añadir a todo ello el riesgo derivado del empleo de explosivos, en los casos de excavación de rocas de dureza medio-alta en adelante.

Cuando se emplea la nueva metodología de las "VSM", todas las operaciones del proceso se hacen "desde el exterior" del pozo, con lo que se evita todo el tipo de riesgos derivados del trabajo del personal en el fondo del mismo, ofreciendo, además, la máxima seguridad general posible, ya que, incluso para la revisión, mantenimiento y reparación de la máquina, ésta se extrae hasta el nivel superior del brocal, con grúas que forman parte del equipo de la "VSM", diseñadas especialmente para este cometido que realizan con gran celeridad.

Por lo que se refiere a la CALIDAD, hay dos aspectos a considerar, la IMPERMEABILIDAD DEL REVESTIMIENTO, por una parte, y las posibles SUBSIDENCIAS en el terreno circundante, por otra, sin que pueda decirse cuál de ellos es más importante, porque depende de los requisitos de cada Proyecto.

La IMPERMEABILIDAD DEL REVESTIMIENTO viene asegurada por la robustez del mismo y la precisión de colocación, que se ha logrado en las máquinas de última generación, con los nuevos medios de posicionamiento de los anillos para su montaje, los de fija-

or do so by some other method after completing the bench excavation and once the machine has been removed.

In this way, a HERRENKNECHT "VSM" 9600 machine has carried out a bench excavation which is 160 m deep.

4. Most significant aspects of the new technology

Just a final word as regards the mechanised construction of shafts with machines of the "VSM" type, it is worth mentioning in detail three aspects which, in our opinion, constitute major advantages when adopting this new technology for constructing vertical shafts. They are the following: SAFETY AT WORK, QUALITY and CERTAINTY OF TIMEFRAMES AND COSTS.

As regards SAFETY AT WORK, it should be pointed out that the conventional methods for constructing vertical shafts present the worst possible scenarios for safety as workers will have to work "inside the shaft".

And this is the case whether it is a question of "deepening" methods (which are the most habitual in which the work progresses from top to bottom) as well as "raised" (excavation progress from bottom to top). In these cases the required position of the workers inside the shaft entails a high risk owing to the possible falling of tools, working utensils and construction materials, including that of the actual material which is being excavated, having to add the risk deriving from the deployment of explosives in those cases of medium-high hardness rocks below.

When the new "VSM" methodology is adopted, all the operations of the process are carried out "from the exterior" of the shaft, whereby all kinds of risks deriving from the work of staff at the bottom thereof is avoided, also offering the maximum general safety possible as, even for the revision, maintenance and repair of the machine, the latter is extracted up to the upper level of the curb with cranes which form part of the "VSM" equipment, especially designed for this task which they carry out with great speed.

As regards QUALITY, there are two aspects to be considered, the IMPERMEABILITY OF THE LINING, on the one hand, and the possible SUBSIDENCES in the surrounding land, on the other, without being able to say which is

ción de las dovelas de un mismo anillo entre sí, y los de enlace entre anillos sucesivos.

Es por ello que con las nuevas "vsm" se supera con mucho la impermeabilidad que se puede lograr con los escudos, incluso la mejor conseguida en algunos casos excepcionales de "hidroescudos". Gracias a la citada precisión y a la robustez del revestimiento, unidas al control remoto del proceso de excavación e hinca y al ajuste redundante que aporta el relleno continuo por inyección de lodo bentonítico espeso del "gap" entre terreno y anillos, el conjunto del revestimiento se va hincando en el terreno con absoluta verticalidad, manteniendo su impermeabilidad.

Por último, en cuanto a la impermeabilidad de la junta del revestimiento con la solera definitiva, la construcción de un taponamiento previo de hormigón sumergido, permite construir en condiciones óptimas la solera de fondo del proyecto, cuyas armaduras pueden unirse a la pieza metálica del "anillo 0".

Pasando a tratar las SUBSIDENCIAS en los terrenos circundantes, principalmente los asientos, es sabido que, en general, la excavación de pozos verticales, cualquiera que sea el método constructivo, suele presentar afecciones menores.

Ya se comprende que con las "vsm" son de esperar asientos mínimos. Esto es lo que nos ha sucedido hasta ahora en las obras hechas en España, a las que nos hemos referido en los apartados anteriores, y en las que se estableció un control riguroso de los asientos con el fin de comprobar su magnitud en terrenos muy diferentes (aluvial superior y roca inferior bajo carga de agua en el pozo de 50 m de MONTCADA, y suelos cuaternarios en los pozos de 20 m de Gerona, con Nivel freático próximo al brocal). Pues bien, en dichas obras, se han medido asientos inferiores a los 8 mm y 10 mm, respectivamente.

Finalmente, considero muy importante comentar, aunque sea brevemente, el tercer aspecto señalado como significativo de esta nueva tecnología, aspecto que he caracterizado como la CERTEZA DE PLAZOS Y COSTES.

Si es frecuente que se aplique por los especialistas, con las debidas cautelas, esta característica como una ventaja del empleo de tuneladoras en la construcción de túneles, es mucho más apropiado hacerlo al presentar la nueva metodología de

most important because it depends on the requirements of each Project.

The IMPERMEABILITY OF THE LINING is assured by the robustness thereof and the precision of placement which has been achieved in latest generation machines with the new means of positioning of rings for their assembly, those for securing the dowels of the same ring to each other and those for connection between successive rings.

This is why the new "vsm" allows the impermeability achieved by shields to be greatly surpassed, and even, in some exceptional cases the best achieved with hydrosields. Thanks to the aforementioned precision and robustness of the lining, along with the remote control of the excavation and driving process and the redundant adjustment contributed by the continuous filling by injection with betonite slurry of the gap between the land and the rings, the lining as a whole gradually drives into the site totally vertically, maintaining its impermeability.

Finally, as regards the impermeability of the lining joint with the final ground plate, the construction of a prior submerged concrete plug allows construction in optimum conditions of the bottom ground plate of the project whose reinforcements may be joined to the metallic part of "ring 0".

Moving on to the SUBSIDENCES in the surrounding sites, in the main the settlements, it is known that, generally speaking, the excavation of vertical shafts, whatever the construction method, usually denotes less problems.

It can be seen that with the "vsm" minimum settlements are to be expected. This is what has happened up to now on the works carried out in Spain which we have referred to in the previous sections and in which strict control has been established of the settlements with a view to checking their size on very different sites (upper alluvium and lower rock under water load in the 50 m shaft of MONTCADA and quaternary soils in the 20 m shafts of Gerona with a Groundwater level near the curb). On said works settlements have been measured of lower than 8 mm and 10 mm, respectively.

Finally, I believe it to be very important to point out, however briefly, the third aspect regarded as significant of this new technology, an aspect which I have characterised as the CERTAINTY OF TIMEFRAMES AND COSTS.

If it is frequent for specialists –with all due precaution– to quote this characteristic as an advantage of the deployment of tunnellers in the construction of tunnels, it

construcción de pozos con máquinas "vsm", sobre todo si hay carga de agua.

La dificultad del reconocimiento minucioso del terreno del trazado de un túnel sigue siendo una asignatura pendiente de solución en numerosos casos y, por ello, las ventajas indudables del empleo de tuneladoras para la construcción, vienen limitadas por el riesgo que suponen los posibles accidentes geológicos que, más que imprevisibles, debieran denominarse difícilmente cuantificables y, sobre todo, evaluables en relación con su afección al desarrollo del proceso constructivo.

Por el contrario, en el caso de la construcción de pozos verticales, el reconocimiento previo del terreno con sondeos verticales puede ser todo lo minucioso que se requiera, y lo mismo puede decirse de la caracterización geomecánica del terreno, por lo que el empleo de las máquinas "VSM" ofrece como ventaja real la mencionada CERTEZA DE PLAZOS Y COSTES.

Suelen ser circunstancias de otra índole, sobre las que hemos insistido suficientemente, las causantes de aumentos de plazos y costes, por imprevisión o control deficiente del diseño e implementación de las instalaciones auxiliares de la obra.

5. Agradecimientos

Quiero reiterar mi agradecimiento, en primer lugar, a la empresa HERRENKNECHT AG, por su inestimable ayuda para la corrección de los textos de estas publicaciones y por su aportación de bibliografía relativa a obras llevadas a cabo con esta tecnología.

Y he de agradecer también, una vez más, a las empresas españolas, constructoras de los primeros pozos ejecutados con "VSMs" en España, y a la Administración de dichas obras, las facilidades que me han dado para llevar a cabo el asesoramiento debido para la aplicación de esta nueva tecnología. Se puede solicitar copia por e-mail a Peter Smäh en Schwanau: (schmaeh.peter@herrenknecht.de). ♦

is much more appropriate to do so when presenting the new methodology for constructing shafts with "vsm" machines, mainly in case of water charge.

The difficulty of a detailed surveying of the site of the layout of a tunnel is still a task which has not been solved in numerous cases and, for this reason, the undoubted advantages of using tunnellers for construction are limited by the risk that possible geological accidents entail which, besides being unforeseeable, could be said to be hard to quantify and, in particular, hard to evaluate as regards their impact on the development of the construction process.

On the contrary, in the case of the construction of vertical shafts, the prior surveying of the site with vertical probes can be as detailed as is required and the same can be said of the geomechanical characterisation of the site. Hence, the deployment of "vsm" machines affords as a real advantage the CERTAINTY OF TIMEFRAMES AND COSTS.

It is usually circumstances of a different nature -which we have stressed sufficiently- which bring about increases in timeframes and costs owing to the failure to foresee or poor control of the design and implementation of the auxiliary installations of the works.

5. Acknowledgements

Firstly, I would like to reiterate my thanks to the company HERRENKNECHT AG for its priceless help with the correction of the texts of these publications and its contribution of bibliography regarding works undertaken with this technology.

I should also like to once again thank the Spanish companies which constructed the first shafts undertaken using "vsm" in Spain and the Administration of said works for the facilities they have provided me with to undertake the necessary consultation to apply this new technology. A copy may be asked by mail to Peter Smäh in Schwanau: (schmaeh.peter@herrenknecht.de). ♦

Referencias/References:

- (1) CLARKE, Ian. "German expertise in Russian master plan". Tunnelling & Trenchless Construction, 12/2005.
- (2) "Sewer project makes progress in Kuwait". Tunnelling & Trenchless Construction, 2/2005.
- (3) MEYER GLÜCKAUF, Lutz. "Entwicklung und Einsatz einer Vertikalbohrmaschine in Indone-

sien", 2005.

- (4) "Pionierprojekte im Maschinellen Schachtbau". Tiefbau, 8/2006.
- (5) MÖLLER, D.P.F. "Schachtabsenkanlagen mit Tübbingausbau". Wissenschaftsstiftung Deutsch-Tschechisches Institut (WSDTI) (Ed.) Schildvortrieb mit Tübbingausbau. Eine umweltschonende, sichere Baumethode. Mechanised Tunnelling and Segmental Lining. For safe

and environment friendly tunnelling. Hamburg: GbR Veröffentlichungen Unterirdisches Bauen, 2009. ISBN 978-3-00-025435-2

- (6) DE RISI, Antonello. "Problematiche, tecnologie e nuove metodologie nella realizzazione di gallerie metropolitane". Strade & Autostrade, 1-2009.
- (7) SCHMÄH, P. "Innovations in Microtunnelling". RETC 2007. Short Course. Toronto, 2007.