

Maquinas integrales "VSM" para la construcción mecanizada de pozos verticales

Fullfacer machines "VSM" for mechanised construction of vertical shafts

Revista de Obras Públicas
nº 3.518. Año 158
Febrero 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.) (España). fms@spicc.e.telefonica.net

Resumen: Las máquinas integrales de Pozos Verticales ("VSMs"), desarrolladas en los últimos años por el fabricante alemán HERRENKNECHT AG, ofrecen una nueva forma de construir pozos, al igual que sucedió con las tuneladoras, hace más de 100 años, en la construcción de túneles. Las VSMs de última generación permiten excavar, y revestir a la vez, pozos en suelos y rocas de dureza media (matriz rocosa hasta 80-100 MPa) sometidos a una carga freática de hasta 8 bar. La VSM trabaja sumergida en un lodo arcilloso fluido que mantiene estables las paredes y, a la vez, facilita el transporte hidráulico de la mezcla de lodo y escombros a una planta de separación, en la que se carga el escombros para transportarlo a vertedero. El cabezal de corte va montado en un brazo telescópico, que puede girar +/- 190° para excavar el fondo del pozo por capas decimétricas. El revestimiento está formado por anillos prefabricados de dovelas de hormigón armado. Los anillos se van conformando en el brocal del pozo, uniendo sus dovelas con tornillos y enlazando cada anillo con el anterior por barras de acero de alta resistencia. Según progresa la excavación, el revestimiento se va hincando de forma controlada, sostenido desde el brocal del pozo por gatos de retención. El autor, que ha tenido ocasión de seguir el desarrollo de esta nueva tecnología de HERRENKNECHT AG, ha participado en los estudios para su introducción en España interviniendo muy directamente en la ejecución de las primeras obras en nuestro país. En el artículo expone los principios de la nueva tecnología.

Palabras Clave: "Raise boring machines (RBMs)"; TBMs para pozos inclinados; Máquinas "VSM"; Pozos verticales; Brazo excavador; Cabezal; Anillos de dovelas de H.A.; Barras de posicionamiento; Tornillos de unión; Conectores; Barras Diwidag; Sellos de impermeabilización; Gatos de retención; Gruas de izado; Gatos de empuje; Planta de separación; Planta de filtros prensa

Abstract: The integral Vertical Shaft Machines ("VSMs") developed in recent years BY German manufacturer HERRENKNECHT AG afford a new way of building shafts, as occurred with tunnellers over 100 years ago in the construction of tunnels. The latest generation VSMs allow simultaneous excavation and lining on soils and medium hardness rocks (rock matrix up to 80-100 MPa) submitted to a groundwater load of up to 8 bar. The VSM works submerged in a fluid clayey slurry which maintains the walls stable and simultaneously facilitates the hydraulic transport of the mixture of slurry and debris to a separation plant, with the debris being loaded for transport to a dump. The cutting head is mounted on a telescopic arm which can turn +/- 190° to excavate the bottom of the shaft by decimetric layers. The lining is formed by prefabricated rings with reinforced concrete dowels. The rings shape to the shaft curb, joining their dowels with screws and linking each ring with the previous one by highly resistant steel bars. As the excavation progresses, the lining is set in controlled fashion supported from the shaft curb by release jacks. The author, who has had the chance to follow the development of this new technology from HERRENKNECHT AG, has taken part in the studies for their introduction in Spain, playing a very big part in the implementation of the first works in this country. The article sets out the principles behind the new technology.

Keywords: "Raise boring machines (RBMs)"; TBMs for inclined shafts; "VSM" machines; Vertical shafts; Excavating arm; Machine head; R.C. dowel rings; Positioning bars; Joining screws; Connectors; Diwidag bars; Waterproofing seals; Release jacks; Raising cranes; Thrusting jacks; Separation plant; Filter press unit

1. Antecedentes

Al igual que las modernas tuneladoras han sido el fruto de 150 años de esfuerzos técnicos para prescindir de los explosivos y lograr un sistema de construcción integral mecanizada de túneles, en los últimos 10

1. Background

In the same way as modern tunnellers have been the upshot of 150 years of technical efforts to do without explosives and achieve an integral mechanised tunnel construction system, in the last 10

años el fabricante alemán HERRENKNECHT AG ha desarrollado los prototipos que han dado lugar a las Maquinas de Pozos Verticales, que denominó "VSM" (siglas de *Vertical Shaft Machines*), con las que hoy día es posible abordar la construcción mecanizada a sección completa de pozos.

Obviamente, estas Maquinas de Pozo Verticales son también fruto indirecto de una serie de experiencias previas que abordaron el problema de la excavación mecanizada de pozos en roca, con éxito indudable en el caso de macizos geotécnicamente competentes. A ellas se refiere brevemente el apartado que sigue.

2. Otras técnicas de excavación mecánica de pozos en roca competente

2.1. Raise Boring Machines (RBMs) (Máquinas de excavación de Pozos verticales en realce)

Son equipos que construyen, primero, un sondeo piloto de gran diámetro (sartas de diámetros de 8'' a 12'' con cabeza de triconos) desde el exterior (o desde una galería superior), hasta una galería (o caverna) inferior en la que se sustituye la herramienta de corte del sondeo piloto por una cabeza ensanchadora (o escarificadora) dotada de herramientas de corte de roca que trabajan en realce (de abajo hacia arriba) para ampliar el sondeo hasta un diámetro que, en los equipos usuales en la construcción civil, suele ser de 1.50 m a 2 m (como máximo, 2.50 m). El escombros cae por gravedad a la galería inferior, desde la que se carga para llevarlo a la escombrera (Figura 1).

En general, estos equipos, que pueden llamarse ligeros, se usan para construir pozos verticales de unos 300 m de altura máxima. En tales casos, es posible asegurar desviaciones reducidas (< 0.5%) si se emplean equipos auxiliares de control de centrado. Además, pueden adoptarse también equipos auxiliares para registrar datos de parámetros como "presión en fondo", "velocidad de avance" "par de giro", etc.

En los proyectos de ingeniería civil, los pozos verticales suelen tener diámetros bastantes mayores, por lo cual lo que construye la RB es un pozo piloto, a partir del que es posible añadir una fase posterior de ensanche (o destroza) hasta el diámetro final, fase que se realiza de arriba hacia abajo con un método de arranque de tipo convencional. El escombros cae por gravedad a la galería o caverna inferior. Las máqui-

years the German manufacturer HERRENKNECHT AG has developed prototypes which have given rise to vertical shaft machines designed by the inventor as "VSMs" (capital letters of the English expression "Vertical Shaft Machines"), meaning that today it is possible to consider the integral mechanised construction of shafts.

Self-evidently, these Vertical Shaft Machines (VSM) are also the indirect upshot of a series of prior experiences which have looked at the problem of the mechanised excavation of rock shafts with great success in the event of geotechnically competent massifs. These are looked at briefly in the point below.

2. Other mechanical shaft excavation techniques in competent rock

2.1. Raise Boring Machines (RBMs)

This is equipment which firstly constructs a large diameter pilot probe (strings with diameters of 8'' to 12'' with a tricone head) from the exterior (or from an upper gallery) to a lower gallery (or cavern) where the cutting tool of the pilot probe is replaced with a reamer head (or scarifier) endowed with rock cutting tools which work raised (from bottom to top) to expand the probe up to a diameter which, in the usual equipment in civil construction, is usually from 1.50 m to 2 m (as a maximum, 2.50 m). The debris falls by gravity to the lower gallery from where it is loaded for transport to the waste dump (Figure 1).

In general, this equipment, which can be called light, is used to construct vertical shafts which have a maximum height of 300 m. In such cases, it is possible to ensure reduced deviations (< 0.5%) if auxiliary centering control equipment is deployed. Furthermore, auxiliary equipment can also be adopted for recording parameters data such as "bottom pressure", "advance speed" "torque", etc.

In civil engineering projects, vertical shafts usually have much larger diameters and hence the RB constructs a pilot shaft from which it is possible to add a subsequent widening stage (or bench excavation) up to the final diameter, a stage which is carried out from top to bottom using a conventional start-up method. The debris falls by gravity to the lower cavern or gallery. "VSM"

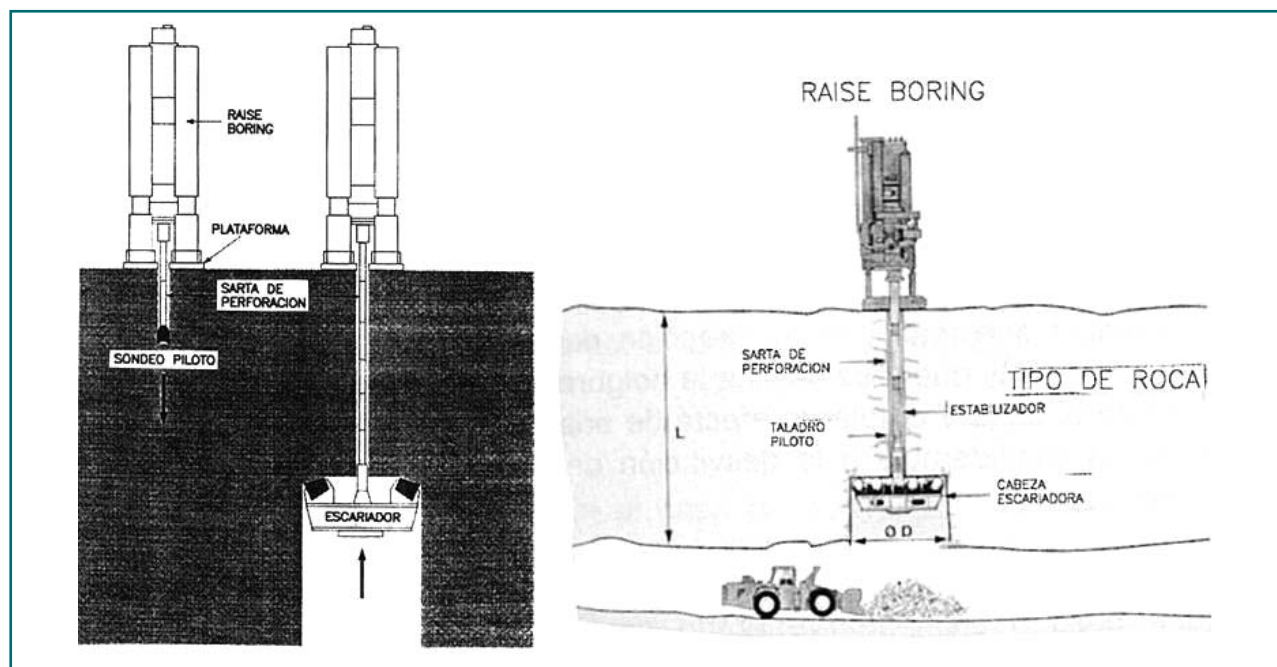


Fig. 1. Esquema de una "Raise Borer" / "Raise Borer" Diagram.

nas tipo "VSM" se pueden utilizar también para excavar estas destrozadas, en rocas de dureza media.

En el caso de ciertas aplicaciones mineras de productos de alto valor (oro, diamantes, etc), o de tecnologías avanzadas de exploración de macizos (geotermia, instalaciones nucleares, etc) se han desarrollado equipos pesados mucho más sofisticados que:

- Pueden trabajar sin galería inferior, extrayendo el escombros por un sistema de fluidos a presión.
- Pueden alcanzar diámetros finales de 6 a 7 m.
- Dada la gran potencia que requiere la máquina base, es posible también alcanzar profundidades muy importantes (≥ 1000 m) con el sondeo piloto reduciendo el diámetro del ensanche si no se dispone de una galería inferior.

Ya se comprende que estos equipos no son usuales en la construcción civil por su elevado coste.

2.2. TBMs para Pozos inclinados

Suelen ser máquinas desnudas (es decir, del tipo "topos"), para construir pozos inclinados en macizos geotécnicamente muy competentes.

machines can also be used to excavate these bench excavations on medium hardness rocks.

In the case of certain mining applications for highly valuable products (gold, diamonds etc) or advanced massif exploration technologies (geothermics, nuclear installations etc) much more sophisticated heavy equipment has been developed which:

- *Can work without a lower gallery, extracting the debris by a pressure fluid system.*
- *Can reach final diameters of 6 to 7 m.*
- *In view of the great power required by the basic machinery, it is also possible to reach very significant depths (≈ 1000 m) with the pilot probe, reducing the diameter of the widening if there is no lower gallery.*

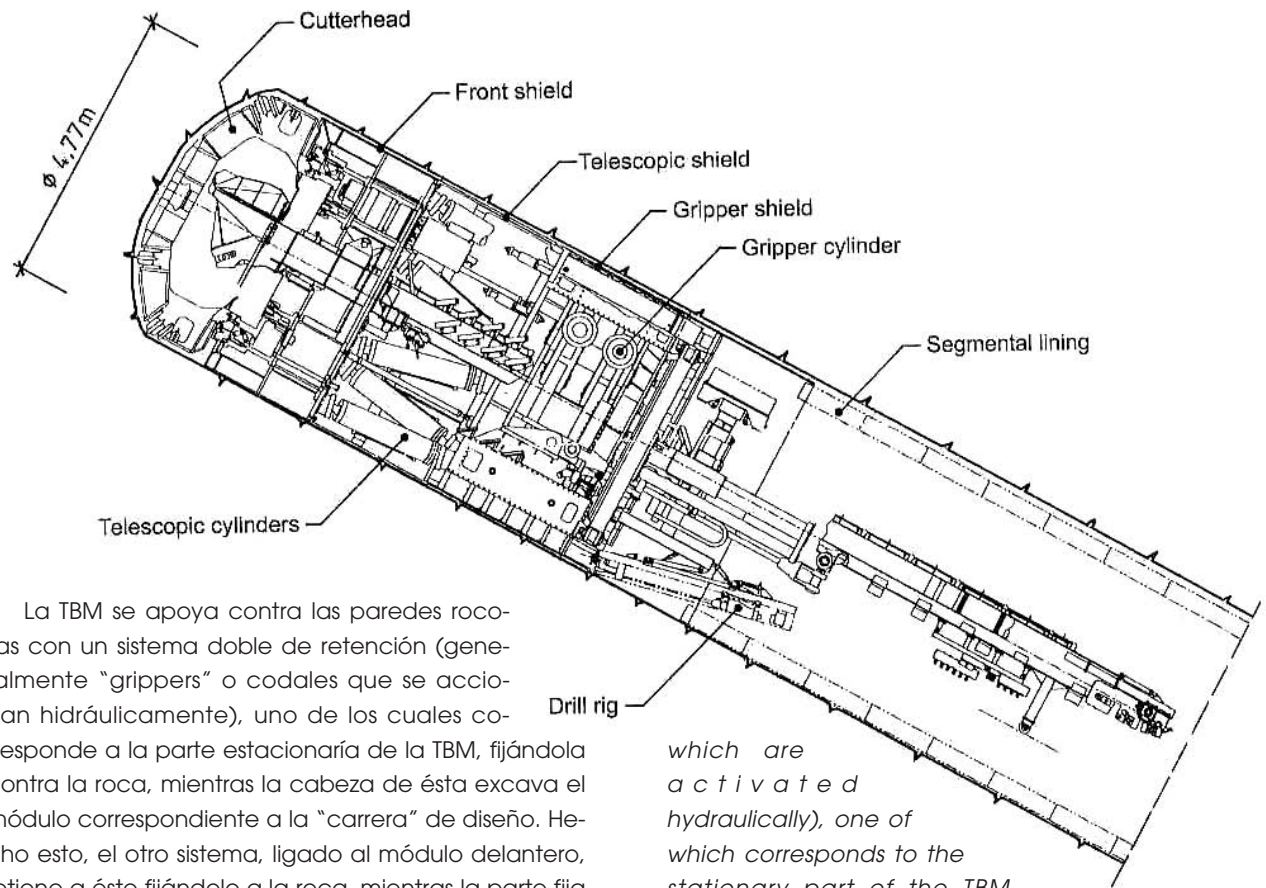
Self-evidently, this equipment is not usual in civil construction owing to its high cost.

2.2. TBMs for inclined shafts

These are usually bare machines (in other words, of the "mole" type) for constructing inclined shafts on geotechnically very competent massifs.

The TBM is supported against the rocky walls with a dual retention system (generally, "grippers" or props

Fig. 2. Diseño de un "doble escudo" para pozos inclinados/Design of a "dual shield" for inclined shafts.



La TBM se apoya contra las paredes rocosas con un sistema doble de retención (generalmente "grippers" o codales que se accionan hidráulicamente), uno de los cuales corresponde a la parte estacionaria de la TBM, fijándola contra la roca, mientras la cabeza de ésta excava el módulo correspondiente a la "carrera" de diseño. Hecho esto, el otro sistema, ligado al módulo delantero, retiene a éste fijándolo a la roca, mientras la parte fija o estable, una vez liberada de su retención, se desplaza hacia adelante para alcanzar una posición similar a la inicial, pero avanzada un módulo respecto de aquella (Figura 2).

Con pendientes de 45° o mayores, el escombros puede bajar por gravedad (añadiendo agua y, a veces, "enchapando" la solera) para cargarlo al pie del Pozo sobre los vehículos de transporte a vertedero: es el dispositivo más simple y que más se ha utilizado. Con pendientes inferiores a 45° el escombros tiene que "transportarse hasta el pie del Pozo": la máquina en estos casos ha de llevar un equipo de "rezaga" que complica bastante el proceso, ya que cualquier incidente menor puede afectar seriamente el rendimiento.

2.3. Limitaciones de estas técnicas de Pozos en roca

Sin pretender hacer una relación exhaustiva, señalamos las siguientes:

- a) Uno u otro tipo de métodos requiere una calidad geotécnica óptima del macizo. Cualquier zona

which are activated hydraulically), one of which corresponds to the stationary part of the TBM, securing it against the rock, whilst the head of the latter excavates the module corresponding to the designed "path". Once this has been done, the other system connected with the front module retains the latter, securing it to the rock, whilst the fixed or stable part, once its retention is released, moves forward to attain a position similar to the original one, but one module further forward than the former (Figure 2).

With slopes of 45° or more, the debris can fall by gravity (adding water and, sometimes, "plating" the ground plate), being loaded at the shaft base on the vehicles for transport to the dump: it is the simplest device and that which has been used most often. With slopes of lower than 45° the debris must be "transported to the shaft base": in these cases the machine must have "back-up" equipment which makes the process much more complicated as any minor incident may seriously affect performance.

2.3. Limitations of these rock shaft techniques

Without wishing to make an exhaustive list, we would highlight the following:

fracturada (por pequeña que sea la alteración), supone:

- Una dificultad notable en una RBM, que puede requerir tratamientos previos de consolidación antes de iniciar el realce⁽¹⁾.
- Dificultad máxima si la alteración afecta a zonas de más de 1 m de longitud de Pozo, y riesgo importante de seguridad en todo caso en las TBM de Pozos inclinados⁽²⁾.

b) Ninguna de ambas técnicas hace una construcción integral del Pozo pues, en la mayoría de los casos⁽¹⁾, falta el revestimiento simultáneo a la excavación.

- Por muy simple que éste sea (aplicación de H.P. por ejemplo) no cabe duda que es una fase más del proceso que suma plazos y costes.

c) Para ser aceptables dentro de los niveles actuales de coste de la construcción civil, puede hacerse la siguiente apreciación:

- Las RBMs suelen utilizarse para construir pozos pilotos de altura menor de 300 m y siempre que exista una galería o caverna inferior. En todo caso, precisan una fase intermedia de destroza con explosivos y ejecución descendente, si los diámetros superan los 2,5 m, como ya se ha indicado.
- Las TBMs para Pozos inclinados sólo son viables hasta diámetros máximos del orden de los 4,5 m a 5,0 m. En cuanto se rebasan estas cifras, el sostenimiento (imprescindible por razones de seguridad) se hace excesivamente gravoso en plazos y costes, hasta el punto de ser preferible, con frecuencia, adoptar un "diseño bitubo".
- Por último, y pese a que se hayan llevado a cabo diseños muy sofisticados como es el caso de la TBM "ROBBINS" de la figura 2, en macizos de roca competente pero con tramos de alteración significativa, en varios proyectos hidroeléctricos construidos en España, ha resultado más

a) Both methods require the optimum geotechnical quality of the massif. Any fractured area (however small the alteration) entails:

- A notable difficulty in an RBM which may require prior consolidation treatments before starting the raise⁽¹⁾.
- Maximum difficulty if the alteration affects shaft areas which are over 1 m long and a major safety risk in any case in the TBM of inclined shafts⁽²⁾.

b) Neither technique carries out an integral construction of the shaft as, in the majority of cases ⁽¹⁾, the lining is not carried out.

- However simple this is (H.P. prestressed concrete application, for example), there is no doubt that this another stage of the process which expands deadlines and costs.

c) To be acceptable within the current civil construction cost levels, the following consideration can be made:

- RBMs are usually deployed to build pilot shafts of a height of under 300 m and whenever there is a lower cavern or gallery. In any case, they need an intermediate bench excavation stage with explosives and descending implementation if the diameters exceed 2.5 m as has already been indicated.
- The TBMs for inclined shafts are only feasible up to maximum diameters of around 4.5 m to 5.0 m. Of these figures are exceeded, support (essential for safety reasons) becomes too costly and time-consuming, to the extent that it is often preferable to adopt a "bi-tube design".
- Finally, and despite the fact very sophisticated designs have been carried out as is the case of TBM "ROBBINS" in figure 2, on competent rock massifs but with segments of significant alteration, on various hydroelectric projects

(1) Si el problema radica en los primeros metros del Pozo (máximo: 20% de la altura total) puede ser económicamente aceptable el consolidar previamente el terreno, tanto para hacer el Pozo piloto, como la futura destroza. Si el suelo (o roca muy fracturada) afecta a un % mayor o está situado a profundidad mayor de un 30% del total, la solución no suele ser económicamente aceptable.

(2) Esto debe considerarse como criterio general. No obstante se ha llegado a probar diseños como el de la Figura 2, utilizando escudos para roca que pueden colocar un revestimiento que hace las veces de sostenimiento.

(1) If the problem is based on the first few metres of the shaft (maximum: 20% of the total height), it may be economically acceptable to consolidate the site beforehand, both to carry out the pilot shaft as well as the future bench excavation. If the soil (or very fractured rock) affects a larger % or is situated at a depth of over 30% of the total, the solution is not usually economically acceptable.

(2) This should be regarded as a general criterion. Notwithstanding, designs such as that of Figure 2 have been tested, using shields for rock which can place a lining which serves as support.

Fig. 3. VSM
"HERRENKNECHT"
(BAUMA-
Munich,
2007)/VSM
"HERRENKNECHT"
(BAUMA-
Munich, 2007).

V-005

Diámetro interior
(Inner diameter): 5,6 – 7,8 m

Profundidad de los pozos
(Shaft depth): 65,0 – 85,0 m

GEOLOGÍA

Arenas saturadas /
Arcillas duras con bolos (RCS $\leq$ 130 MPa)

GEOLOGY:

Soft flowing sand, hard clay
with boulders - RCS $\leq$ 130 MPa)

Nivel freático:
4 m bajo la boca del pozo

Groundwater:
4 m under shaft superficie



económica en plazo y coste la combinación de Pozo vertical (RBM) con galería inferior horizontal, en vez del Pozo inclinado (TBM)

constructed in Spain, it has proven more economic money and timewise to combine vertical shaft (RBM) with the horizontal lower gallery, instead of the inclined shaft (TBM)

3. Las máquinas para la construcción integral de pozos verticales (VSMs)

3.1. Características técnicas de la excavación

Las VSMs para la construcción integral (excavación y revestimiento) de pozos verticales en suelos y rocas blandas (hasta una RCS = 60 MPa) con diámetros interiores entre 5 m y 10 m aproximadamente fueron concebidas y desarrolladas por HERRENKNECHT AG, fabricante bien conocido de tuneladoras⁽³⁾

En la figura 3 siguiente se puede ver una de las máquinas "VSM" de 1ª Generación, así como los datos de los pozos excavados con ella para el Proyecto

(3) HERRENKNECHT AG tiene completamente desarrollada la tecnología para máquinas que pueden excavar Pozos de hasta 10 m de diámetro interior. La misma máquina base puede adaptarse a diámetros menores hasta un mínimo de 5,75 m de diámetro interior. Por otra parte, he tenido la oportunidad de colaborar en los primeros estudios de prototipos de diámetros mayores del mismo fabricante, que actualmente tiene en estudio de diseño avanzado máquinas para diámetros de hasta 20 m.

3. Machines for the integral construction of vertical shafts (VSMs)

3.1. Technical characteristics of the excavation

The VSMs for the integral construction (excavation and lining) of vertical shafts on soils and soft rocks (up to an RCS = 60 MPa) with inner diameters of between around 5 m and 10 m have been designed and developed by HERRENKNECHT AG, a well-known manufacturer of Tunnelers⁽³⁾.

In figure 3 below you can see one of the 1st Generation "VSM" machines, as well as the data of

(3) HERRENKNECHT AG has totally developed the technology for machines which can excavate shafts of up to 10 m of Inner Diameter. The same basic machine can be adapted to smaller diameters to a minimum of 5.75 m of Inner Diameter. On the other hand, I have had the opportunity of collaborate with it on designing of much bigger diameters, and carrying out an advanced design study on machines for diameters of up to 20 m.

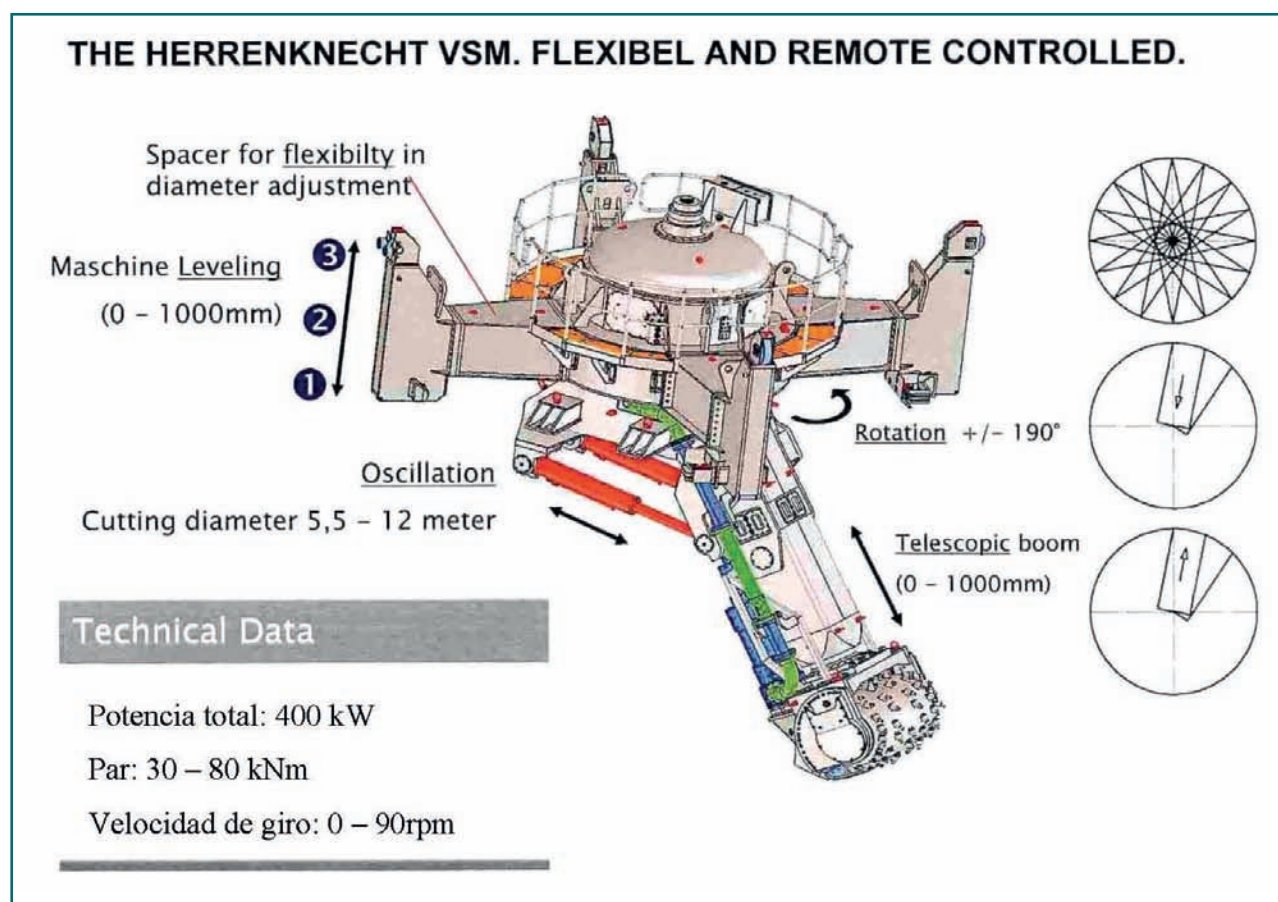


Fig.4. Esquema de una "VSM" de 1ª Generación/ 1st generation "VSM" diagram.

de la Modernización de la Red de Saneamiento de San Petersburgo (2007). Con estas primeras máquinas:

- Se han excavado pozos en suelos y rocas blandas de hasta 85 m de profundidad bajo carga de agua de 8 bar como máximo y, si no hay carga de agua, hasta 160 m de profundidad.
- Al trabajar bajo carga de agua y rellenar al mismo tiempo el "gap" terreno-revestimiento con un lodo bentonítico, se consigue que los asentamientos en superficie sean despreciables.
- La desviación en planta que se puede conseguir gracias al guiado automático, y cierta posibilidad de corrección, es del orden del 0,3% a 0,5% de la profundidad del pozo.

El esquema de la Figura 4 siguiente sirve para comentar las características técnicas principales relativas a la excavación de un pozo.

Como puede verse en dicha figura, el brazo excavador tiene una cabeza del tipo de los de las rozadoras ("Roller type" o de rodillo horizontal) y trabaja sumergi-

the shafts excavated with it for the Project to Modernise the St.Petersburg Sanitation System (2007). As regards the former machines:

- Shafts have been excavated in soils and soft rocks of up to 85 m deep under a water load of 8 bar as a maximum and, if there is no water load, up to 160 m deep.
- When working under a water load and filling at the same time the site-lining "gap" with a bentonite slurry, it is managed to limit surface settlements
- The plan deviation which can be achieved thanks to the automatic guidance and a certain possibility of correction is of around 0.3% to 0.5% of the shaft depth.

The diagram in Figure 4 below serves to illustrate the main technical features as regards the excavation of a shaft.

As can be seen in the Figure, the excavating arm has a head of the same type as the cutting machines ("Roller type") and works submerged in

do en un lodo arcilloso de baja densidad, lo que, además de dar estabilidad a la excavación, permite el transporte hidráulico del escombros hasta una planta de separación similar a las empleadas en las hincas. Por ello, salvo la bomba eléctrica de impulsión de la excavación, todos los mecanismos son hidráulicos.

Volviendo al esquema de la figura, las 4 piezas de apoyo de la máquina ("Machine Leveling") van fijadas a dos anillos, usualmente los que hacen los nº 2 y 4 a partir de la cuña metálica (o "anillo cero") que va recortando el perímetro de la sección circular excavada. Estas piezas, de una altura de unos 3 anillos, llevan 3 puntos de posible ajuste de la altura a la que trabaja la máquina más un tope en el fondo, que corresponde a la "tongada" final de la excavación e hincas del anillo.

El cuerpo de la máquina entra en las piezas por deslizamiento, con lo cual el izado de la "VSM" hasta el brocal del pozo para su revisión y mantenimiento se puede hacer muy rápidamente. Como complemento del conjunto de fijación existe un sistema hidráulico que permite ajustar el cuerpo de la máquina al diámetro de cada pozo (en la Figura "spacer for flexibility").

Por otra parte, el esquema recoge también la forma en que se hace la excavación, penetrando el cabezal entre 160 mm y 200 mm (según el tipo de terreno) por cada rotación o "tongada" completa en los $\pm 190^\circ$ de giro. A la vez, el brazo telescópico puede "oscilar" en sentido horizontal desde 0, que corresponde a un diámetro interior mínimo del pozo, de 5,75 m hasta un valor máximo que depende del diámetro de cada pozo.

Finalmente, en el esquema se indican los siguientes parámetros técnicos principales del brazo excavador de estas máquinas:

- Potencia de excavación..... 400 kW
- Par..... 30-80 kN*m
- Velocidad de giro..... 0-90 rpm

3.2. El revestimiento del pozo

El ciclo de excavación, que se ha descrito en el apartado anterior, se realiza simultáneamente con el descenso o "hincas" del revestimiento, constituido por anillos prefabricados de dovelas de Hormigón Armado (H.A.) unidos entre si con un sistema que asegura su impermeabilidad.

low density clayey slurry which, as well as lending stability to the excavation, allows the hydraulic transport of the debris to a separation plant similar to those deployed for driving. That is why all the mechanisms are hydraulic, except the electric pump to drive forward the excavation mixture.

Returning to the diagram in the figure, the 4 support parts of the machine ("Machine Levelling") are secured to two rings, usually those which carry out nos.2 and 4 from the metallic wedge (the "zero ring") which gradually cuts the perimeter of the excavated circular section. These parts, the height of about 3 rings, have 3 possible points for adjusting the height at which the machine works plus a hub at the bottom which corresponds to the final "layer" of the excavation and driving of the ring.

The machine body penetrates the parts by sliding, whereby the raising of the "VSM" up to the shaft curb for its revision and maintenance can be carried out very rapidly. As a complement to the securing unit, there is hydraulic system which allows the machine body to be adjusted to the diameter of each shaft (in the Figure "spacer for flexibility").

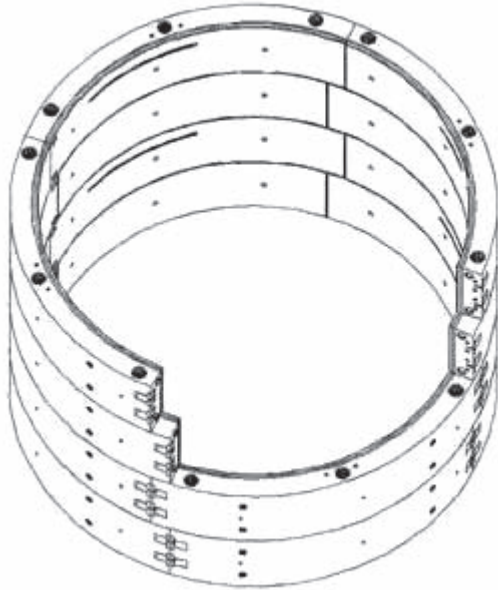
On the other hand, the diagram also shows the way in which the excavation is carried out, with the head penetrating 160 mm and 200 mm (depending on the type of site) for each complete rotation or "layer" in the $\pm 190^\circ$ of turning. In turn, the telescopic arm can "oscillate" horizontally from 0 which corresponds to a minimum Inner Diameter of the shaft of 5.75 m up to a maximum value which depends on the diameter of each shaft.

Finally, the diagram shows the following main technical parameters of the excavating arm of these machines:

- Excavation power..... 400 kW
- Torque..... 30-80 kN*m
- Turning speed..... 0-90 rpm

3.2. The shaft lining

The excavation cycle which has been described in the previous point is carried out concurrently with the lowering or "driving" of the lining, made up of prefabricated Reinforced Concrete (R.C.) dowel rings joined to each other by way of a system ensuring their impermeability.



- **Espesor constante**
Constant thickness
- **Anillos de dovelas prefabricadas**
Prefabricated dowel rings
- **Presión de agua 6 Bars.**
Water pressure 6 Bars.



Fig. 5.
Revestimiento
impermeable
del pozo
(St. Petersburg)/
Impermeable
shaft lining
(St. Petersburg).

El conjunto de anillos que forma el revestimiento del pozo descende según progresa la excavación por capas o "pasadas" y va perfilando el perímetro de la excavación circular con el borde cortante de acero que lleva el "anillo cero", hasta que se completa el módulo de avance que, en estas máquinas, suele ser casi siempre de 1 m⁽⁴⁾. En cuanto al espesor de las dovelas se suele adoptar el valor de 400 mm, o bien 350 mm para profundidades inferiores a 25 m.

El módulo del anillo de revestimiento está formado por 4 dovelas de hormigón armado (Ver figura 5) similares a las que colocan las tuneladoras "escudadas". No obstante, la diferencia con estas es importante, debiendo señalar lo siguiente (Figura 6):

- Las uniones en horizontal (dovela con dovela del mismo anillo) se hacen por la cara exterior del anillo, con piezas metálicas especiales (Ver PLANTA de la Figura 6).
- Para la correcta colocación de las dovelas de un anillo, la junta en las primeras máquinas no era plana sino que presentaba un "saliente" en una de las dovelas, que encajaba en un "entrante" de

The set of rings which forms the shaft lining descends as the excavation progresses by way of layers or "machine runs" and gradually profiles the perimeter of the circular excavation with the cutting steel edge which has the "zero ring" until the advance module has been completed which, in these machines, is almost always 1 m⁽⁴⁾. Usually, the width of dowels is 400 mm. However, a minimum value of 350 mm can be used for shafts less than 25 m deep.

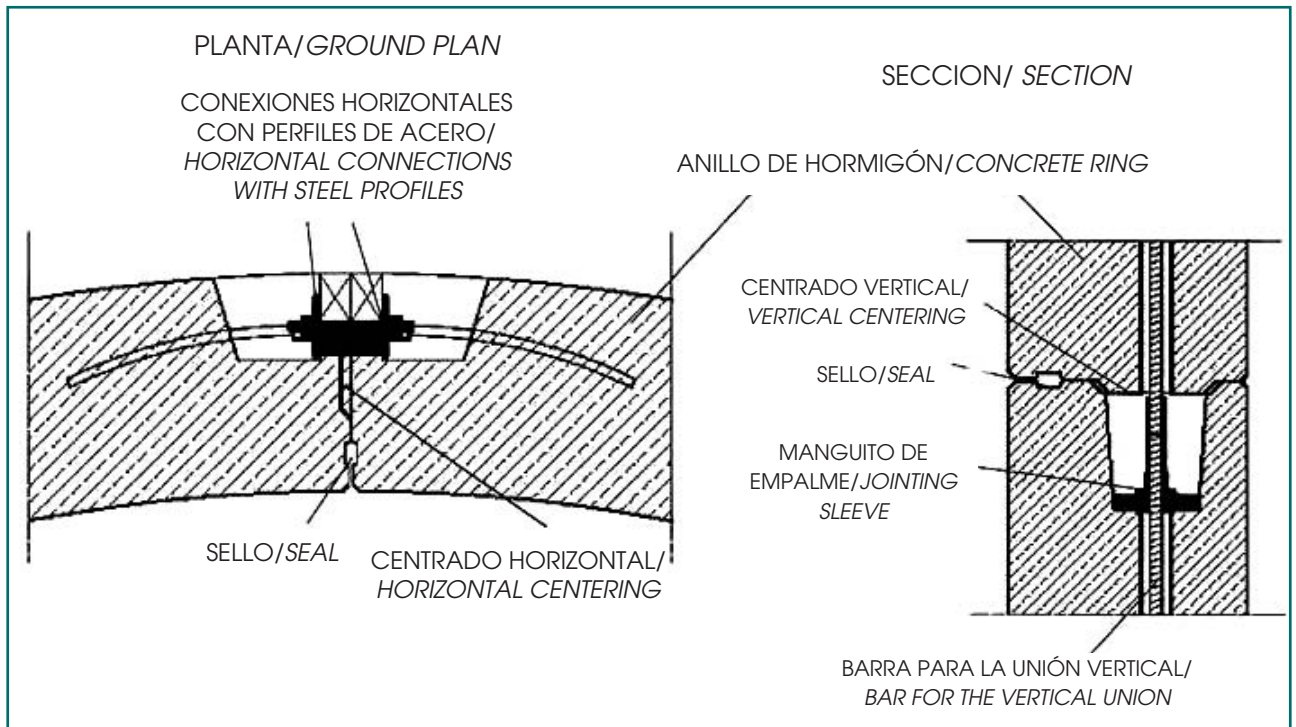
The lining ring module is made up of 4 reinforced concrete dowels (See figure 5) similar to those placed by "shielded" tunnellers. Notwithstanding, the difference with the latter is important and the following should be indicated (Figure 6):

- *The horizontal joins (dowel with dowel of the same ring) are made by way of the face of the ring, with special metallic parts (See PLAN in Figure 6).*
- *For the proper placement of the dowels of a ring, the joint on the first machines was not flat but rather had a "protuberance" on one of the dowels which fit into a "recess" of the other dowel to ensure horizontal centering (See the aforementioned PLAN)*

(4) Obviamente, la altura de los anillos puede ser algo mayor (se han hecho anillos de hasta 1,50 m) pero debe adaptarse el sistema de ajuste de excavación. Por otra parte, y sobre todo en pozos de pequeño diámetro puede interesar que el "anillo cero" esté formado por dovelas totalmente metálicas.

(4) Self-evidently, the height of the rings may be somewhat greater (1.50 m rings have been made), but the excavation adjustment system should be adapted. On the other hand, in small diameter shafts, it may be of interest for the "zero ring" to be formed by totally metallic dowels.

Fig. 6. Dovelas de H.A. del anillo de revestimiento del pozo (St. Petersburg)/ H.A. dowels of the shaft lining ring (St. Petersburg).



la otra dovela, para asegurar el centrado horizontal (Ver la citada PLANTA)

- Por último, el sello de estanqueidad va alojado en un rebaje común a ambas caras de la junta citada, del lado interior del anillo.
- Las uniones entre anillos se hacen con barras Diwidag, generalmente de $\varnothing 18$ mm, y para el correcto posicionamiento de cada dovela sobre la del anillo anterior llevan también orificios para alojar biconos de posicionamiento y rebajes para el sello de estanqueidad, del lado interior del anillo (Ver SECCIÓN de la Figura 6).
- El número de barras depende del peso del revestimiento y la unión entre barras de anillos contiguos se hace con manguitos metálicos colocados en la cabeza de las barras del anillo precedente, como indica la sección de la figura.
- Por último, el diseño del revestimiento puede hacerse desplazando alternativamente las juntas de dovelas de un anillo con las de los contiguos, como se ve en la Figura 5.

Pues bien, una vez terminado el ciclo "excavación/hinca del revestimiento", correspondiente al avance de un módulo, comienzan los trabajos preparativos del avance siguiente, que consisten en montar un anillo adicional, a nivel del brocal del pozo, fijan-

- Finally, the watertight seal is housed in a notch common to both sides of said joint, on the inner side of the ring.
- The joins between rings are formed by Diwidag steel bars, generally of $\varnothing 18$ mm, and for the correct positioning of each dowel on that of the previous ring they also have holes to accommodate biconic component positioning and notches for the watertight seal on the inner side of the ring (See SECTION of Figure 6).
- The number of bars depends on the weight of the lining and the union between adjoining ring bars is effected with metallic sleeves placed at the head of the preceding ring bars, as the section of the figure indicates.
- Finally, the design of the lining can be carried out by alternatively moving the dowel joints of a ring with those of the adjoining ones as can be seen in Figure 5.

In actual fact, once the "excavation/driving of the lining" cycle has finished of the module which has just advanced, the preparation works of the next advance commence, which consist of mounting an additional ring at the shaft curb level, securing, on the one hand, their dowels to each other, and, on the other, joining the whole of this ring to the final one which formed part of the lining driven in the preceding advance. In this way a

do, por una parte, sus dovelas entre si, y, por otra uniendo todo este anillo al último que formaba parte del revestimiento hincado en el avance precedente. Se añade así un módulo más al conjunto del revestimiento para iniciar el ciclo siguiente.

4. Máquinas "VSM" de última generación

4.1. Nuevas características técnicas

Las primeras máquinas "VSM" utilizaban un pórtico muy pesado (Ver la Figura anterior nº3) que es la estructura básica de las Instalaciones del Pozo, con la que se sostiene el conjunto de los anillos que forman el revestimiento, así como las 3 grúas con las que se iza la máquina hasta el brocal del Pozo para realizar las operaciones sistemáticas del Plan de Mantenimiento de la misma, la revisión y reposición de herramientas y, si fuera el caso, las reparaciones mecánicas necesarias.

Pues bien, la modificación del sistema de sustentación del revestimiento (iniciada el año 2007) que es la característica más destacable de las máquinas de última generación, puede resumirse como sigue:

- Se suprime el pórtico y la sustentación del revestimiento se hace por medio de varios gatos hidráulicos de retención cada uno de los cuales opera sobre el paquete de cables sustentadores, que arrancan del elemento que fija dicho paquete a un punto del "anillo cero" y salen al exterior por el "gap", o espacio entre la excavación y el anillo de revestimiento que está relleno del lodo bentonítico denso.
- En la bobina enrolladora de cables de cada uno de estos gatos se coloca la longitud total del paquete de cables cuyos extremos se han anclado a la parte metálica del "anillo cero". En la Figura 7 puede verse el esquema y la vista de un gato con la bobina para los cables.
- En el caso de suelos suele ser conveniente que la pavimentación del brocal sea una estructura anular de H.A., de un cierto espesor, con cuyas armaduras se enlazan las de las zapatas de H.A. de los gatos (estas de un canto o espesor mayor). Así, el conjunto tiene peso sobrado para equilibrar los empujes de los gatos.

further module is added to the whole of the lining to start the subsequent cycle.

4. Latest generation "VSM" machines

4.1. New technical characteristics

The first "VSM" machines used a very heavy gantry (See previous Figure nº.3) which is the basic structure of the shaft installations, whereby the set of rings which form the lining is supported, as well as the 3 cranes with which the machine is raised up to the shaft curb to carry out the systematic operations of the Maintenance Plan thereof, the revision and replacement of tools and, where applicable, the mechanical repairs required.

In actual fact, the modification to the support system lining (started in 2007) which is the most prominent feature of the latest generation machines, can be summarized as follows:

- The gantry is removed and the lining support is lifted by means of various hydraulic release jacks each of which operates on the supporting cable package which start from the element which secures said package to a point of the "zero ring" and come out to the exterior via the "gap", the space between the excavation and the lining ring which is packed with dense bentonitic slurry.
- On the cable reel bobbin of each of these jacks the whole length of the cable package is placed whose ends have been anchored to the metallic part of the "zero ring". Figure 7 shows the diagram and the view of a jack with the reel for the cables.
- In the case of soils, it is usually appropriate for the paving of the curb to be a H.A. ring structure, of a certain thickness, with whose reinforcements those of the H.A. ground plates of the jacks are intertwined (these having greater thickness). Hence, the whole has more than enough weight to balance the jerks of the jacks.
- The number of release jacks and their capacity depend on the weight of the lining but the most usual for shafts of $\varnothing_{int} > 7$ m is to have on site and at 90° 4 300 t/ut. jacks which is the conventional model.

For lower diameters, it is frequent to assemble only 3 jacks at 120° as can be seen in Figure 8.



Fig. 7. Esquema y vista de un gato de retención del revestimiento/ Diagram and view of a release jack of the lining.



- El número de gatos de retención y su capacidad dependen del peso del revestimiento pero lo más usual para pozos de $\varnothing_{int} > 7$ m es disponer en planta y a 90° , 4 gatos de 300 t/ud. que es el modelo convencional.

Para diámetros menores es frecuente montar solo 3 gatos a 120° , como puede verse en la Figura 8.

- En el caso de rocas, cada gato se cimenta en una zapata armada, que puede referirse al terreno con anclajes calculados para la carga total necesaria, o bien enlazar sus armaduras con las de la estructura anular antes descrita. En todo caso, para controlar bien el nivel del lodo bentonítico de lubricación entre terreno y revestimiento, el brocal debe tener siempre una solera de hormigón de forma anular.
- Si el pozo se excava en un suelo blando suele ser más conveniente la solución de pilotes y si, además, el pozo es de poca profundidad (< 30 m), o bien el nivel freático es muy elevado, puede convenir hacer una estructura anular de pilotes con una viga de atado circundando el brocal del pozo, que hace las veces de pavimentación.

– La sustentación de la máquina para su izado hasta el brocal se hace con 3 grúas montadas en planta a 120° , como se ve en la Figura 8. Su ca-

- In the case of rocks, each jack is settled on a reinforced ground plate which can be placed on the site with anchorages calculated for the total load required, or intertwine its reinforcements with those of the ring structure described above. In any case, to control the level of bentonite slurry for lubrication between the ground and the lining well, the curb shall always have a ring-shaped concrete ground plate.
- If the shaft is excavated on a soft soil, it is usually more appropriate to go for the pilot solution and if, furthermore, the shaft is not very deep (< 30 m), or the groundwater level is very high, it may be suitable to carry out a ring structure of piles with a tie beam girder going round the curb of the shaft which substitutes the paving.

– The support of the machine for its raising up to the curb is carried out by 3 cranes assembled at 120° as can be seen in Figure 8. Its capacity corresponds to the total weight of the VSM (70 t).

- In latest generation VSMs, the metallic structure of each of these cranes is used to add a hydraulic jack which serves for the thrusting of the lining where necessary. The conventional jack model has a capacity of 100 t.

This new type of design simplifies the installations and, furthermore, it has other advantages, leaving clear



Fig. 8. Instalación de una VSM de última generación/Installation of a latest generation VSM.



Fig. 9. Vista en planta del nuevo tipo de instalaciones/Top plan view of the new type of installations.



Fig. 10. Grúa automóvil pesada para manejo de dovelas/Heavy Travelling crane for handling dowels.



Fig. 11. Colocación de dovelas de un nuevo anillo con aparejos auxiliares para mantenerlas horizontales/Placement of dowels of a new ring with auxiliary apparatus to keep them horizontal.

pacidad corresponde al peso total de la VSM (70 t).

- En las VSMs de última generación, la estructura metálica de cada una de estas grúas se aprovecha para añadir un gato hidráulico que sirve para el empuje del revestimiento cuando ello es necesario. El modelo convencional de gato tiene una capacidad de 100 t.

Este nuevo tipo de diseño simplifica las instalaciones y tiene, además, otras ventajas al dejar libre el espacio sobre la planta del pozo, lo que permite una concentración importante de medios sin que se estorben entre sí (Ver Figura 9).

La ventaja principal es, sin duda, poder utilizar grúas automóviles de gran porte para la colocación de las dovelas y conformación del anillo, haciendo posible asegurar una elevada precisión de estas maniobras y, a la vez, una mayor rapidez (Figura 10).

Por otra parte, las grúas utilizan aparejos auxiliares de agarre para mantener las dovelas horizontales y facilitar su colocación con la precisión necesaria (Figura 11).

Por lo demás, los parámetros básicos de las VSM para pozos de hasta 10 m de diámetro interior no han variado, siendo válidos los datos que figuran en el anterior apartado 3.1.

Por lo que se refiere al cabezal de corte convencional (Figura 13), el ábaco de la siguiente Figura 12 correlaciona, por una parte, el consumo de picas por m^3 y, por otra, la resistencia a compresión simple de las rocas, teniendo en cuenta su contenido de sílice. Al respecto, cabe decir lo siguiente:

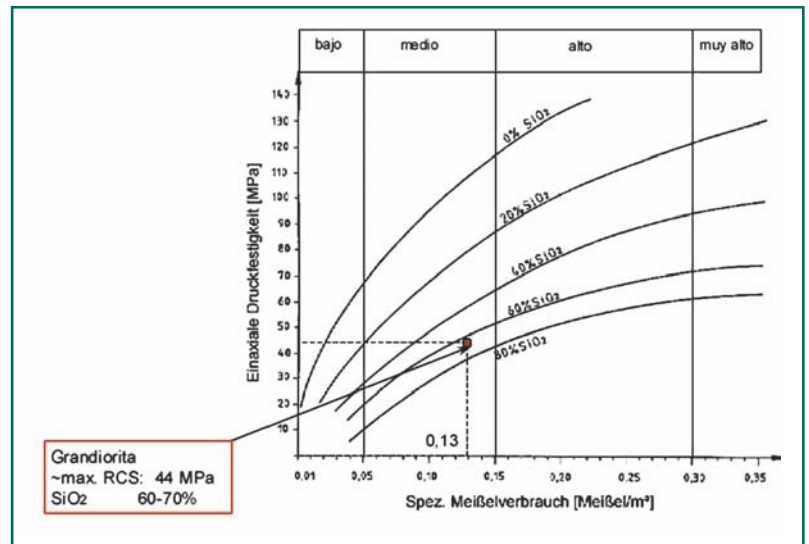


Fig. 12. Estimación del desgaste de herramientas/ Estimation of tool wear and tear.

the space over the shaft which allows a important concentration of resources without getting in each other's way (See Figure 9).

The main advantage is undoubtedly being able to use large travelling cranes for placing the dowels and shaping the ring, making it possible to ensure the high precision of these manoeuvres and, simultaneously, greater speed (Figure 10).

On the other hand, cranes use auxiliary securing apparatus to keep the dowels horizontal and facilitate their placement with the necessary precision (Figure 11).

What's more, the basic parameters of the VSM for shafts of up to 10 m of interior diameter have not varied, with the data which features in the previous point 3.1 being valid.

As regards the conventional cutting head (Figure 13), the graph in the following Figure 12 correlates, on the one hand, the consumption of picks by m^3 and, on the other, the resistance to the simple compression of the rocks, bearing in mind their silica content. In this regard it is worth mentioning the following:

- The main object of the graph is to provide information about the consumption of tools of a conventional head.
- On the other hand, it relates to excavation in soft rocks, meaning that the branches of the curves above 50 MPa should not be considered.
- Finally, for soils consumption corresponding to 20 MPa can be assumed although the value does not have any special meaning.

- El ábaco tiene por objeto principal orientar sobre el consumo de herramientas de un cabezal convencional.
- Por otra parte, se refiere a la excavación en rocas blandas, por lo que las ramas de las curvas por encima de 50 MPa no deben considerarse.
- Por último, para suelos pueden tomarse los consumos correspondientes a 20 MPa, si bien el valor no tiene un significado concreto.

4.2. El revestimiento del pozo

El revestimiento del Pozo sigue las mismas pautas básicas señaladas en el apartado anterior 3.2, si bien con ciertas mejoras cuyo objetivo es conseguir la mayor rapidez de las operaciones y, a la vez, una impermeabilidad máxima del revestimiento. Son estas:

- La mayor facilidad de colocación de las dovelas con grúa, que permite su posicionamiento rápido sobre el anillo precedente.
- Aparejos especiales para el manejo de las dovelas en posición horizontal (Figura 11), lo que facilita la precisión de su colocación.



Fig.13. Cabezal convencional para suelos y rocas blandas/
Conventional head for soils and soft rocks.



Fig. 14. Barras de posicionamiento y orificios para los tornillos de unión en las juntas entre dovelas/
Positioning bars and holes for the joining screws at the joints between dowels.



Fig. 15. (a) Tornillos de unión entre dovelas. (b) Orificios para conectores y barras Diwidag entre anillos/ (a) Joining screws between dowels. (b) Holes for connectors and Diwidag bars between rings.

- Nuevos diseños de las juntas entre dovelas de un anillo, en las que se incorporan barras de posicionamiento, a la vez que se adopta la unión por tornillos entre dovelas, con los huecos necesarios en la cara exterior de las mismas, como se ve en las Figuras 14 y 15 (a).
- Se mantienen las barras Diwidag como sistema de unión entre anillos contiguos (orificios de mayor diámetro en las figuras) y se añaden conectores de plástico duro en las juntas para un rápido posicionamiento (Figura 15 b).
- La fijación entre dovelas con tornillos permite hacer las juntas inclinadas respecto del eje del Pozo, con lo que también se mejora el contacto de las caras de las juntas y de los sellos de impermeabilización (Figura 16).

4.2. The shaft lining

The shaft lining follows the same basic standards indicated in the previous point 3.2 although with certain improvements whose objective is to achieve the greater speed of the operations and, simultaneously, the maximum impermeability of the lining. These are:

- The greater ease of placement of dowels with a crane which allows their positioning on the preceding ring.
- Special apparatus for handling dowels in a horizontal position (Figure 11) which facilitates the precision of their placement.
- New designs for the joints between the dowels of a ring in which the positioning bars are



Fig. 16. Revestimiento con juntas inclinadas y "anillo cero" totalmente metálico Lining with inclined joints and wholly metallic "zero ring".



- Mando a distancia
Remote control
- 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"
"VSM" machine
2. Brazo excavador
Excavating arm
3. Pórtico de hinca
Driving gantry
4. Planta de separación
Separation plant
5. Cabina de control
Control cabin

Fig.17. Instalación general de una "VSM" /
General installation of a "VSM".

- En cuanto al "anillo cero" se sigue diseñando con estructuras mixtas de Hormigón y chapa de acero, para formar el "borde cortante" de la hinca del revestimiento, o bien se construye de acero en su totalidad, sobre todo en pozos de diámetro pequeño (Figura 16).

5. Equipos auxiliares de las "VSMs"

5.1. El sistema de operación y control del proceso

En la Figura 17 se reproducen los elementos básicos de un Montaje de "VSM" con sus Instalaciones generales, señalando los rasgos más característicos del Sistema de Operación y Control:

- Todos los elementos mecánicos se mandan a distancia desde el "container" de mando y control (5) del operador.
- A su vez, desde el mismo puesto se ordenan las correcciones necesarias, tanto para lograr la verticalidad de la excavación, como el paralelismo del revestimiento y el eje del Pozo. Una vez excavados los 5 ó 6 primeros metros, deben hacerse las debidas correcciones para lograr tanto el centrado como el paralelismo del

incorporated, whilst simultaneously union is achieved by screws between dowels with the necessary holes on the outer face thereof, as can be seen in Figures 14 and 15 (a).

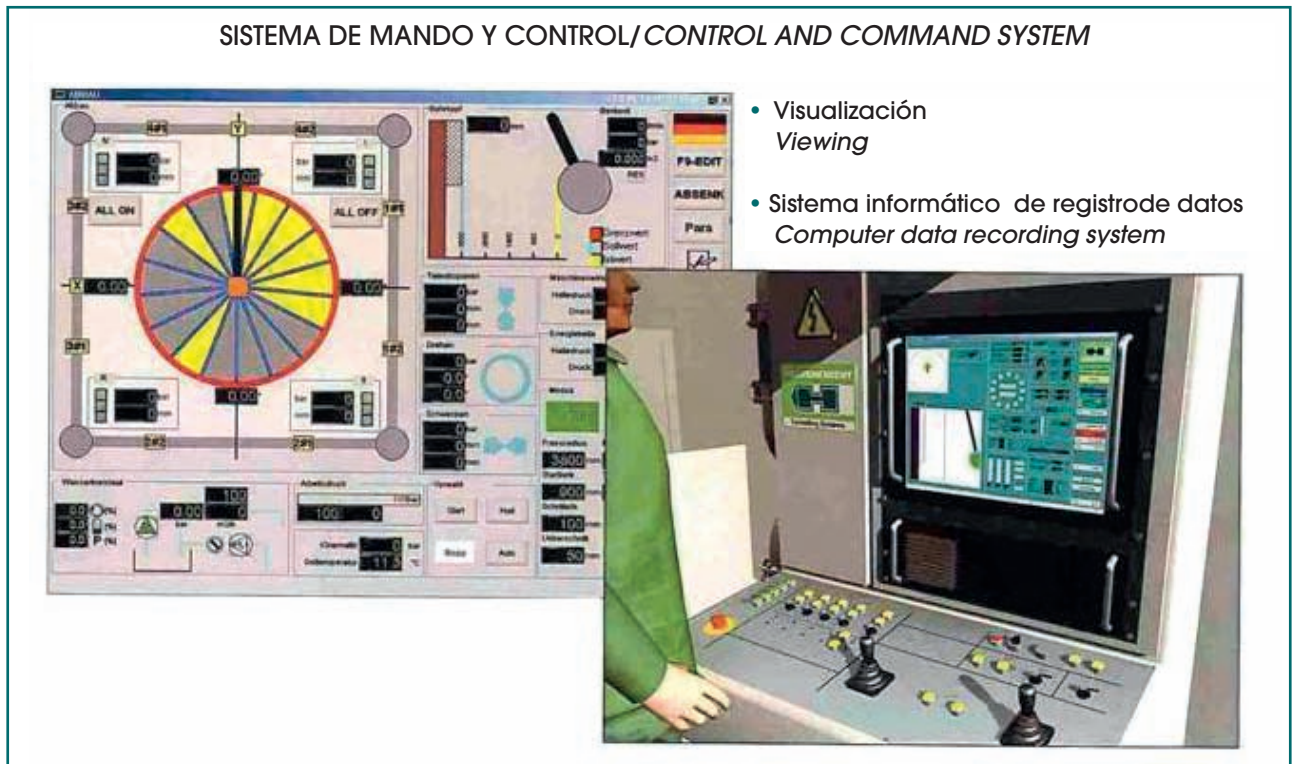
- The Diwidag bars are maintained as a joining system between adjoining rings (holes of larger diameter in the figures) and hard plastic connectors are added at the joints for rapid positioning (Figure 15 b).
- The affixation between dowels with screws allows the joints to be inclined with regard to the shaft axis and in this way the contact of the faces of the joints and of the waterproofing seals is also improved (Figure 16).
- As regards the "ring zero", it continues to be designed with mixed structures of concrete and steel plate to form the "cutting edge" of the lining drive or it is all made of steel, particularly in shafts with a small diameter (Figure 16).

5. Auxiliary "VSMs" equipment

5.1. The process operating and control system

Figure 17 illustrates the basic elements of a "VSM" assembly with its general Installations, indicating the

Fig. 18. Pantallas de la cabina de una VSM HERRENKNECHT/
Screens of the cabin of a VSM HERRENKNECHT.



revestimiento con el eje del proyecto, lo que asegura una perfecta ejecución del resto del pozo ya que, a partir de esa longitud, las posibilidades de corrección son limitadas.

- A partir de dicho ajuste, la verticalidad del revestimiento esta garantizada por su robustez y la acción de los gatos de retención que trabajan con esfuerzos iguales. Como medida redundante, el espacio entre terreno y revestimiento se mantiene relleno de un lodo bentonítico denso que se inyecta a presión por orificios situados en los anillos inferiores (nº 1 y 2) y cuyo nivel máximo es el de la boca del pozo, donde se vigila fácilmente.
- Las pantallas del puesto del operador facilitan la visualización de las operaciones, al tiempo que recogen los datos de los registros automáticos que hace el PLC de la máquina.
- En general, en suelos y rocas blandas, el peso del revestimiento permite que la "VSM" trabaje retenida por los gatos, sin necesidad de un empuje adicional.
- La fuerza de retención puede alcanzar las 1200 t en un montaje equipado con 4 gatos convencionales de retención de 300 t/ud, usual para pozos de $\varnothing_{int} = 9$ m.

most characteristic features of the Control and Operating System:

- All mechanical elements are remote controlled from the command and control "container" (5) of the operator.
- In turn, from the same station the necessary corrections are ordered, both to achieve the verticality of the excavation, such as the parallelism of the lining and the shaft axis. Once the first 5 or 6 metres have been excavated, the due corrections shall be made to achieve both the centering as well as the parallelism of the lining with the project axis, ensuring the perfect implementation of the rest of the shaft as, from this length, the correction possibilities are limited.
- As from said adjustment, the verticality of the lining is ensured by the release jacks which work with equal efforts. As a redundant measure, the space between the site and the lining is kept full of thick bentonite slurry which is pressure-injected by holes situated on the lower rings (nº.1 y 2) and whose maximum level is that of the shaft mouth where it can be easily monitored.
- The screens of the operator station facilitate the viewing of operations, whilst simultaneously

SISTEMA DE CONTROL INSTRUMENTAL/INSTRUMENT CONTROL SYSTEM

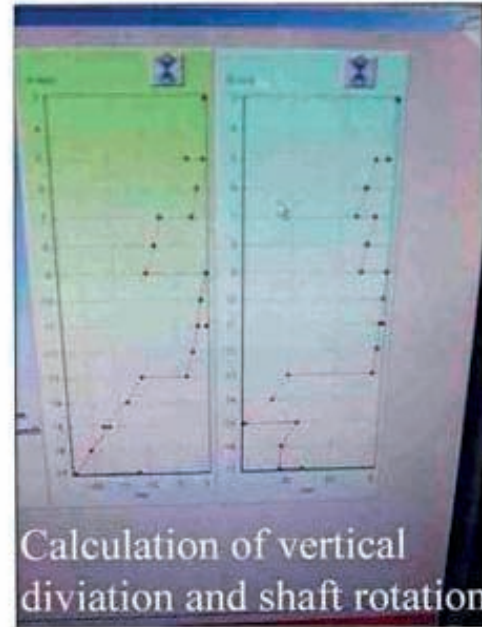
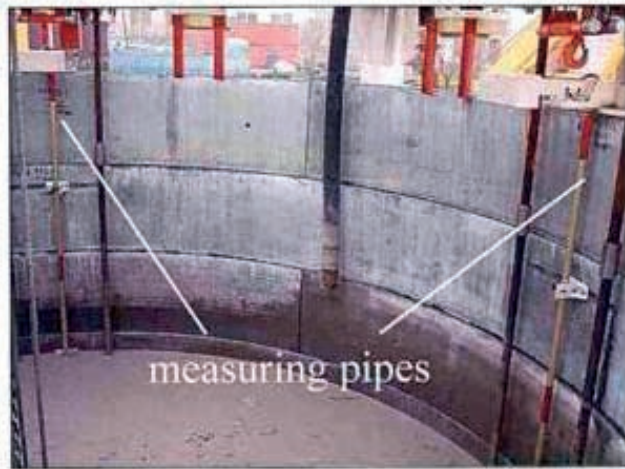


Fig. 19.
Elementos de control de la VSM/
VSM control elements.

- No obstante, en algún caso de terrenos inestables con empujes horizontales (gravas o bolos) ha sido necesario aplicar una fuerza de empuje hacia abajo con equipos complementarios para ello.

La solución más usual es dotar a las 3 grúas que sustentan la "VSM" de gatos adicionales para ello, de una capacidad de empuje de 100 t cada uno, como ya se ha indicado anteriormente.

5.2. Otras observaciones sobre el proceso

- El principio del funcionamiento de las VSMs obliga a excavar con la máquina sumergida en un líquido. Para ello se aporta un lodo arcilloso fluido y, a veces, sólo agua.

Por esta razón, el número de conducciones flexibles es muy numeroso (alimentación de motores hidráulicos de los diversos elementos de la máquina; conducciones de engrase de los mismos; línea de transporte de la mezcla de agua (o lodo fluido) y terreno; línea de reposición de agua (o lodo "fresco" o limpio) etc.

Ello recomendó distribuir estas conducciones en una estructura metálica de soporte, que a la vez fuese flexible, por lo que se adoptó un esquema

gathering the data of the automatic records which the PLC of the machine carries out.

- *Generally speaking, in soils and soft rocks the weight of the lining allows the "VSM" to work retained by the jacks without the need for any additional driving.*
- *The retention strength may attain 1200 t in an assembly equipped with 4 conventional retention jacks of 300 t/ut, usual for shafts of $\varnothing_{int} = 9$ m.*
- *Notwithstanding, in no cases of unstable sites with horizontal drives (aggregate or pebbles) has it proven necessary to apply a driving force downwards with complementary equipment to this end.*

The most common solution is to endow the 3 cranes which support the "VSM" with additional jacks to this end, a driving capacity of 100 t each.

5.2. Other observations about the process

- *The operating principle of the VSMs requires excavation with the machine submerged in a liquid. To this end, frequently only water is provided.*

For this reason, there are a large number of flexible pipes (powering of hydraulic engines of the various



Fig. 20.
Cadena de
conducciones
de una VSM/
VSM Piping
chain.

del tipo "cadena", que dio nombre a este elemento auxiliar de máxima importancia para el buen funcionamiento de la máquina y la rápida localización de averías. Puede verse en detalle en la Figura 20, y también es fácilmente identificable en las Fotografías 8 y 9 anteriores.

- Cuando el terreno es muy abrasivo, debe emplearse un lodo bentonítico de baja densidad, con lo que los desgastes de los mecanismos se reducen, así como los de las tuberías, que pueden llegar a ser importantes, cuando hay que bombear a cierta distancia del pozo, lo que suele suceder en obras urbanas⁽⁵⁾.
- En cualquiera de los casos, a la salida de la Planta de separación, los finos existentes en el terreno quedan incorporados al líquido, porque las Plantas convencionales no pueden separarlos.
- Para separar los finos y recuperar el agua para su reutilización, puede adoptarse la simple decantación de la parte sólida total (bentonita y finos).

(5) Si sólo se utiliza agua el desgaste de las tuberías metálicas puede ser muy importante (así como el ruido que se produce en el transporte) cuando hay gravas y gravillas en el terreno.

machine elements; lubricating pipes thereof; transport line of water (or fluid bentonite slurry) and site debris mixture; water (or "fresh" or clean slurry) replacement line etc.

It was recommended to distribute these pipes in a metallic support structure which was also flexible, meaning that a "chain" scheme was adopted to this end which lent its name to this auxiliary element of maximum importance for the smooth operation of the machine and rapid breakdown localisation. This can be seen in detail in Figure 20 and it is also easily identifiable in the previous Photos 8 and 9.

- *When the site is very abrasive, low density bentonite slurry shall be deployed whereby the wear and tear of the mechanisms is reduced, as well as those of the piping in those cases where it is necessary to pump at a certain distance from the shaft which usually occurs in urban works⁽⁵⁾.*
- *Whatever the case, at the exit of the separation plant, the fillers to be found at the site are*

(5) *If only water is used, the wear and tear of the metallic piping may be very important (as well as the noise which is caused during transport) when there is aggregate and gravel on the site.*

Aunque se añadan floculantes, es obligado montar varios containers, con el costo consiguiente y una ocupación importante de terreno, lo que es un serio inconveniente en obras urbanas⁽⁶⁾.

- Si, por el contrario, se monta una Planta de filtros-prensa, la recuperación del conjunto de los finos (finos del terreno y bentonita) es muy rápida, y las necesidades se reducen a un container (o depósito) de lodo bentonítico limpio y otro de lodo contaminado, desde el que se alimenta la Planta de filtros.

Como la capacidad necesaria es pequeña, estas plantas tienen un coste razonable. Además, al ser muy compactas, ocupan un espacio mínimo y su montaje es inmediato. Por todo ello, el uso de las Plantas de filtros-prensa puede decirse que se ha generalizado.

6. Agradecimientos

Quiero hacer constar mi agradecimiento, en primer lugar, a HERRNKNECHT AG por su colaboración, sin la que no hubiera sido posible exponer con el detalle preciso esta tecnología y ofrecer la importante bibliografía que se acompaña.

He de hacer constar también la ayuda recibida del personal técnico de las empresas españolas que han realizado las primeras obras que he tenido la oportunidad de supervisar, facilitando la información necesaria tanto a dichas empresas como al ADIF, Administración de dichas obras que me ha dado siempre las máximas facilidades para realizar mi trabajo. ♦

(6) Si en vez de containers se piensa en depósitos fijos, el problema es aún mayor.

incorporated into the liquid because the conventional plants cannot separate them.

- *To separate the fillers and recover the water for its reuse, the simple decanting of the total solid part (bentonite and fillers) may be adopted. Although flocculants are added, it is compulsory to assemble various containers with the entailing cost and a major occupation of the site, which is a serious drawback on urban works⁽⁶⁾.*
- *If, on the contrary, a filter press plant is assembled, the recovery of the set of fillers (fillers from the site and bentonite) is very rapid and requirements are reduced to one container (or tank) of clean bentonite slurry and another of contaminated slurry, from which the filter plant is powered.*

As the necessary capacity is small, these plants are of a reasonable cost. Furthermore, as they are very compact, they take up a minimum space and their assembly is immediate. For all these reasons, it can be said that use of the filter press plants has become widespread.

6. Acknowledgements

Firstly, I would like to express my thanks to the company HERRNKNECHT AG for its collaboration without which it would not have been easy to set out this technology in precise detail, and to offer so detail Bibliography.

I should also make clear the help provided by the technical staff of the Spanish companies which have carried out the first works that I have had the opportunity to supervise on behalf of said companies and of ADIF, the Administration thereof. ♦

(6) *If, instead of containers, it is thought of using fixed tanks, the problem is even greater.*

Referencias/References:

–“Schachtabsenanlagen bewähren sich”, bau MAGAZIN 11/04, Autor: Herrenknecht
–VSM Artikel in Taschenbuch Tunnelbau => “Innovationen im Schachtbau” in Taschenbuch für den Tunnelbau 2006 von Dipl.-Ing. Peter Schmäh, Dipl.-Ing. Lutz Meyer und Dipl.-Ing. Benjamin Künstle (ISBN 3-7739-1337-0, Seite 257)

–Vertical shaft machines. State of the art and vision Peter Schmäh Acta Montanistica Slovaca Ročník 12 (2007), mimoriadne číslo 1, 208-216
–“Further developments and outlook for mechanised shaft sinking” P.Schmäh / B. Künstle (Herrenknecht AG); N. Handke / E.Berger (Thyssen Schachtbau) - Glückauf 1/2007
–VERTICAL SHAFT SINKING MACHINE P.Schmäh speech on Shaft Design and Construction Short-course / Atlanta, 2009.

–“Schachtbautechnik zur Realisierung eines Zugangsschachts in einer Karsthöhle Lutz zur Linde / Peter Schmäh Artikel aus der Zeitschrift: Wasserwirtschaft ISSN: 0043-0978 Jg.: 99, Nr.7/8, 2009 Seiten 42-46
–Artikel von Silvio => “Una nuova alternativa allo scavo di pozzi” / Gallerie e grandi opere sotterranee n. 91 - Settembre 2009 | Peter Schmäh, Grad. Eng., Senior Product Manager, Utility Tunneling