

# SLS-RV

## Sistema de guiado para hinca de tubo

Durante la construcción de un túnel la determinación de la posición de la tuneladora (TBM) es una de las tareas más relevantes. Para lograr una conducción lo más apegada posible al eje, es necesario un control permanente de la posición de la TBM respecto al eje nominal.

### Características de servicio

- Control óptimo de la posición de la máquina
- Las diferencias se pueden mantener en lo mínimo
- Reconocimiento inmediato de una desviación de la máquina
- Introducción oportuna de los movimientos de conducción requeridos
- Determinación permanente de la posición durante el avance
- Enorme ahorro de tiempo en comparación con los procedimientos convencionales
- Mando con técnica topográfica también en curvas verticales y horizontales
- Mayor contenido de información para un mando óptimo de la TBM
- Hardware resistente y apto para túneles
- Software de fácil manejo
- Almacenamiento continuo de todos los datos de avance geométricos para la documentación
- Medición automática de la traza de tubos avanzados
- Visualización de la posición de la máquina en un ordenador externo (opcional)
- Asistencia a escala mundial mediante enlace vía módem y telemantenimiento (opcional)

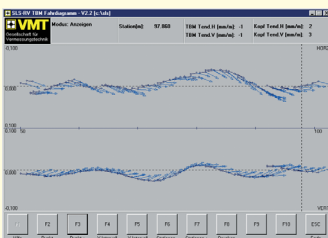
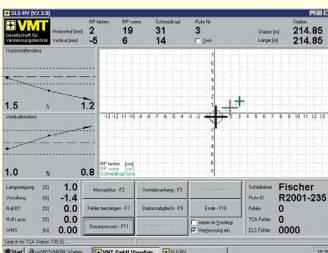


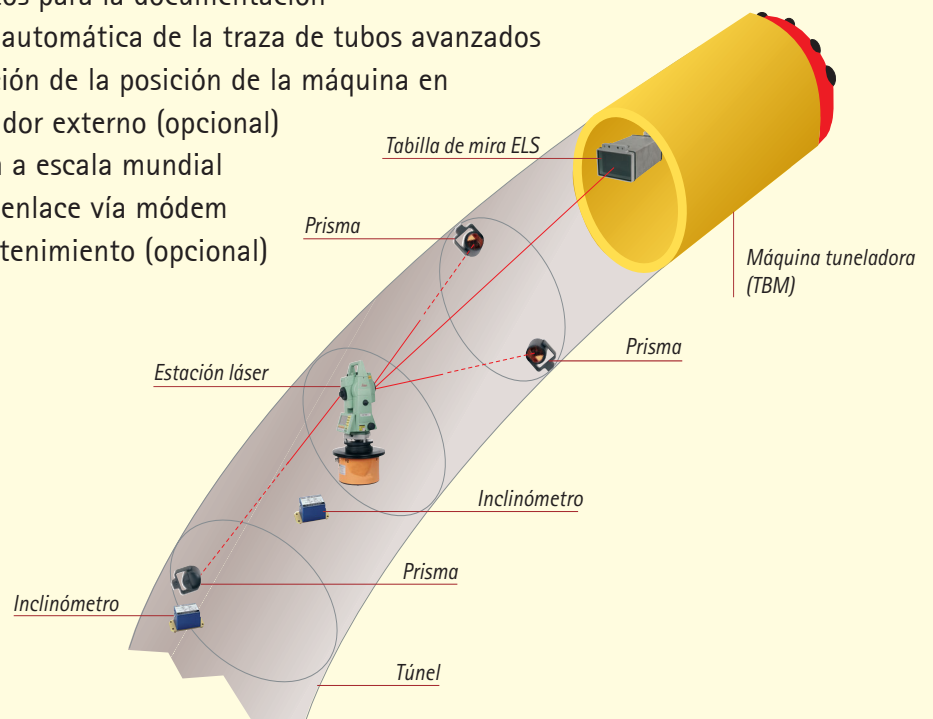
Diagrama de desplazamiento



Visualización de la posición de la TBM



Representación de la traza del sistema



# SLS-RV Sistema de guiado para hincas de tubo

Sistema para el guiado de máquinas tuneladoras (TBM) en avances largos con hincas de tubos rectos o curvos.

## Introducción

Los conductores de las máquinas tuneladoras (TBM) requieren recibir constantemente información referente a la situación actual del eje de la máquina, tal y como desviaciones y tendencias, en relación al eje nominal. Con las velocidades de avance que actualmente se alcanzan de varios centímetros por minuto, el conductor del escudo precisa de una confirmación inmediata de los efectos de sus maniobras de conducción, de forma tal que pueda mantener la TBM dentro de lo posible en el eje nominal.

El sistema de guiado SLS-RV para avances con hincas de tubos ofrece al conductor del escudo información constante sobre la posición espacial y la dirección de la TBM. De esta forma se puede mantener la TBM en el eje nominal sirviéndose de medidas de conducción equilibradas, dentro de un radio de tolerancia relativamente reducido.

La referencia principal del sistema SLS-RV se obtiene de un rayo láser visible que se emite desde un láser teodolito. El láser teodolito se encuentra montado en primer lugar en una consola mural o en una columna de medición en el pozo de arranque, que se pueda designar como estable. El rayo láser transcurre por una distancia de aproximadamente 100-200 m, dependiendo de la intensidad del láser, de las condiciones atmosféricas en el tramo de tubería y de la porción de refracción, a la cual también está sujeto el rayo láser. El rayo láser transcurre por un espacio libre reservado en el pozo de arranque y a lo largo del tramo de tubería (ventana para láser) hacia

una tablilla de mira, la cual se encuentra fijamente instalada en la parte frontal del escudo. La distancia útil entre el láser teodolito y la tablilla de mira dependerá del tamaño de la ventana para el láser, y de las condiciones de curvatura del tramo de tubería.

Una vez que el rayo láser hace blanco en la tablilla de mira ELS, se mide la ubicación exacta del punto de incidencia relativo al centro de la tablilla de mira. También se determina el ángulo de incidencia horizontal del rayo láser en la placa frontal de la tablilla de mira. En la tablilla de mira ELS se encuentra también integrado un inclinómetro biaxial para la medición de la inclinación longitudinal y de la rodadura de la tablilla de mira, la cual funge como representante del escudo en sí.

En la parte frontal de la tablilla de mira ELS se encuentra dispuesto un prisma o una película autorreflejante. La distancia entre la estación láser acompañante y la tablilla de mira ELS algo variable, que se va incrementando de forma poco más o menos constante durante la hincas de tubos, se determina sirviéndose de la medición de distancia electrónica (EDM) dentro de la estación láser. Por tanto, mediante el conocimiento de la posición absoluta de la estación láser se puede determinar también la posición absoluta y la dirección de la tablilla de mira ELS, y por consiguiente, se puede deducir la posición y la dirección del escudo mismo.

Esta información se combina con el curso del trazado indicado para el

avance con hincas de tubos, para ofrecer así al conductor del escudo información clara e inequívoca acerca del lugar donde se encuentra el escudo en relación a la posición nominal. El sistema SLS-RV no sólo muestra la posición exacta de la TBM en cualquier momento, sino que también prepara los resultados de forma clara y concluyente para el operador del escudo, de forma que éste pueda realizar las medidas de conducción correctivas que sean necesarias. Aparte de un enorme ahorro de tiempo, el sistema permite por lo tanto, también un avance con hincas de tubos uniforme y sin complicaciones próximo al eje nominal.

En avances con hincas de tubos es muy importante evitar cambios repentinos de dirección, y de esta forma limitar las cargas puntuales en los cantos exteriores del tubo, de ese modo se han de evitar daños a las juntas. Dichos daños no pueden tolerarse, ya que la penetración de agua subterránea en el tramo de tubería o la salida de aguas residuales al terreno circundante no debe producirse bajo ningún motivo.

Los cambios abruptos de dirección también traerían como consecuencia una gran resistencia de rozamiento contra el prensado previo del tramo completo de tubería, el cual solo podría superarse mediante cargas de presión especialmente elevadas.

Tan pronto como el escudo y el tramo de tubería estén tan adelantados que el rayo láser ya no pueda alcanzar la tablilla de mira ELS desde el pozo de arranque, el láser deberá montarse a una con-

# SLS-RV Sistema de guiado para hincas de tubo

sola, en una posición apropiada detrás de la tablilla de mira, fijamente en el tramo de tubería. Cuando tras otros metros de avance el prisma posterior ya no sea visible desde el láser, deberá también montarse éste en el tramo de tubería.

Para el avance con hincas de tubos es válida la siguiente suposición fundamental: Se espera que la localización fiel se subordine al eje del tramo de tuberías, en otras palabras quiere decir, que se espera, que los tubos sólo puedan seguir la cavidad que ha sido avanzada por el escudo. Esto no siempre es estrictamente válido y deben realizarse correcciones, que se tomarán como base para los siguientes cálculos.

## Manipulación

La posición del escudo se determina una y otra vez durante todo el avance en intervalos relativamente breves. Cuando sea necesario instalar la estación láser en uno de los tubos móviles, el sistema deberá conocer la ubicación actual del eje de dicho tubo. En la primera aproximación esta sería la posición original del escudo en ese mismo lugar. Con gran probabilidad la posición actual del tubo correspondiente diferirá algo de la posición que tenía el escudo en su debido tiempo.

Cuando la estación láser no se encuentre exactamente en el centro del tubo, es decir que esté excéntricamente instalado, cada rodadura del tubo influirá así mismo en la posición de la estación láser. Por tanto, se mide de forma adicional la rodadura actual del tubo sirviéndose de un inclinómetro, y las medidas de montaje determinadas en la posición inicial de la estación láser podrán, por así decirlo, "rodarse".

Para poder asegurar siempre el nivel exacto de la estación láser, incluso en caso de presentarse una rodadura de tubo, se monta ésta en un trípode automático. Este permite la compensación mecánica de cambios de inclinación del tubo, ya sea en sentido longitudinal o en dirección transversal (rodadura), y garantiza que el teodolito permanezca dentro del ámbito de trabajo de su compensador interno.

El ángulo de dirección del rayo láser se determina con ayuda del objetivo de enlace posterior. Mientras el objetivo de enlace posterior aún se encuentre montado en una posición estacionaria (por ejemplo en el pozo de arranque), la determinación del ángulo de dirección resulta especialmente fácil. Sin em-

bargo tan pronto como sea necesario montar también el objetivo de enlace posterior en un tramo de tubería móvil, será igualmente indispensable para los cálculos el consultar la posición real almacenada del tramo de tubería, tomando como base la estación del objetivo de enlace posterior. Con ayuda de la ubicación actual del tubo en el cual se encuentra instalado el objetivo de enlace posterior, se define la ubicación exacta del objetivo de enlace. También para ello es necesario medir continuamente la rodadura actual del tubo por medio de un inclinómetro propio, para poder basarse en una posición de montaje "rodada" para los siguientes cálculos.

Con este procedimiento para la determinación exacta de la posición y orientación momentánea de la referencia láser, es posible aún con tramos de tubería móviles, indicar al conductor del escudo la posición actual del escudo en relación al eje nominal especificado.

Sin embargo, la exactitud que se puede alcanzar en la práctica en base a las suposiciones alcanzadas, no es suficiente para mantener las tolerancias necesarias requeridas para avances en largas distancias. A ello se oponen influencias externas tales como irregularidades en la producción de tubos, sobrecortes extremos o radios de curva especialmente estrechos, que traen como consecuencia posibles prolongaciones de tubos. Por eso, es inevitable realizar regularmente mediciones de control, para reemplazar las posiciones de la máquina almacenadas por mediciones exactas del tramo de tubería actual. Dichas mediciones de control deben realizarse en intervalos no mayores a los 100 m.

La experiencia obtenida de muchos proyectos de avance con



El sistema de guiado SLS-RV se opera mediante una pantalla de contacto.

# SLS-RV Sistema de guiado para hinca de tubo

hinca de tubos exitosamente concluidos, nos ha enseñado también que el comportamiento dinámico del tramo de tubería puede tener consecuencias negativas debido a las condiciones de terreno variantes y a las condiciones hidráulicas cambiantes, a las cuales debe ponérseles especial atención. Los efectos indeseables se manifiestan entre otros, en diferencias entre la traza de tubos almacenada (medida durante el avance), y los resultados de las mediciones de control (medidas durante un período de reposo del tramo de tubería). Como contramedida efectiva los cálculos del sistema pueden calibrarse mediante ajustes diversos en el editor del sistema, de tal forma que los efectos indeseados se integren y se equilibren las diferencias de ello resultantes.

Desde que existen los láser teodolitos servomotorizados, es posible efectuar con más frecuencia ciclos de medición automáticos entre las mediciones de control.

Dichos ciclos de medición actualizan no solo la posición y orientación de la estación láser, sino también la posición de un tubo de referencia en una distancia determinada antes de la estación láser. La posición de este tubo de referencia se determina continuamente y se almacena como traza de referencia, la cual sirve al sistema de base para otras evaluaciones, así como para el recorrido actual del tramo de tubería. El usuario del sistema puede modificar (retocar) esta traza de referencia, para poder tomar en cuenta divergencias o mejorías. Las últimas se tienen siempre a disposición tras la realización de mediciones de control exactas, cuyo registro en la traza de referencia ofrece un fundamento más realista

para las conducciones siguientes. Todos los componentes del sistema se encuentran instalados en la parte delantera del tramo de tubería, donde por lo general no se temen efectos de refracción dignos de ser mencionados.

## Componentes del sistema

Todos los componentes han sido ampliamente controlados en túneladoras en funcionamientos y han demostrado su eficacia bajo rudas condiciones ambientales de varios avances con hinca de tubos.

### Tablilla de mira activa ELS (Electronic Laser System)

Esta recibe el rayo láser y determina la posición del punto de incidencia en el cristal delantero en dirección horizontal y vertical. Además, se mide la rodadura y la inclinación longitudinal del escudo mediante un inclinómetro biaxial incorporado. La tendencia horizontal del eje del escudo se deduce del ángulo de incidencia del rayo láser relativo al eje ELS.

La tablilla de mira ELS se encuentra montada en la parte delantera del escudo, y su posición en coordenadas de la máquina se determina durante la fase de instalación. De esta forma se puede concluir la posición actual del escudo relativa al eje teórico del túnel (eje nominal).

### Unidad de control

Genera el abastecimiento de corriente, recopila todos los valores de medición que llegan del teodolito, de los inclinómetros, de la rueda de medición y del ELS y dirige el intercambio de datos con el ordenador de guiado.

### Láser teodolito

Este se basa en el fundamento de un concepto de la empresa VMT, y es un instrumento servomando y geodésico que puede controlarse desde el ordenador de guiado y posee un dispositivo de reconocimiento automático del objetivo (ATR1).

Este último permite buscar, identificar y medir exactamente prismas redondos estándar de forma automática. Sin embargo, el láser teodolito es principalmente un instrumento de alta precisión para la medición de ángulos y distancias. Además, el láser teodolito proyecta un rayo láser visible a forma de dirección de referencia permanente.

### Trípode de ajuste automático AD-12

Sirve para asegurar la nivelación correcta y permanente de la estación láser, en un área de trabajo de  $\pm 10$  gon. La nivelación se controla permanentemente y se ajusta automáticamente en caso necesario, con una precisión de  $\pm 1$  mgon. Asimismo, se encuentra también activado el compensador automático de la estación láser misma.

### Inclinómetro en la estación láser

Un inclinómetro fijamente instalado en la consola de la estación láser. Determina la rodadura actual del tubo al cual se encuentra dispuesta la consola y transmite los datos al ordenador de guiado a través de la unidad de control.

### Ordenador de guiado SLS-RV

Un ordenador industrial localizado en la cabina de mando del escudo, donde todos los datos determinados se totalizan automáticamente y se evalúan. Los resultados se presentan numérica y gráficamente en la pantalla. De esta manera se puede ver en detalle y fácilmente la posición de la TBM actualizada con regularidad.



Láser teodolito basado en un concepto de VMT

# SLS-RV Sistema de guiado para hinca de tubo

En resumen el ordenador de guiado sirve para la evaluación y el almacenamiento de toda la información geométrica relevante.

## Prisma redondo estándar

A forma de objetivo de enlace posterior. En la modalidad de funcionamiento automática se requiere como conexión de dirección. La unidad ATR1 de la estación láser puede identificar automáticamente y medir el prisma.

## Inclinómetro fijamente instalado

Localizado en la consola del objetivo de enlace posterior. Determina la rodadura actual del tubo que porta la consola y transmite los datos a la unidad de control.

## Prismas base

Dos prismas redondos estándar, denominados más exactamente como prismas base, se instalan en un tubo de referencia aproximadamente 12 m antes de la estación

láser. Su objetivo es la medición de la posición actual del tubo de tubería hincado cerca de la estación láser, de forma que se puedan determinar posibles divergencias entre la posición medida del tubo de referencia y la posición anterior de la TBM en el mismo sitio (prolongación de tubo).

## Sistema de medición de desplazamiento (WMS)

Dispositivo de una rueda de medición dispuesto siempre en el tubo más nuevo en el área del pozo de arranque. Si el tramo de tubería se hinca sirviéndose de los cilindros principales, el giro de la rueda de medición en consecuencia ocasionado genera impulsos eléctricos que son transmitidos al ordenador de guiado para su evaluación.

## Cables de transmisión de datos

Son todos los cables de datos, que conectan los componentes individuales del sistema entre sí.

## TBM Position Programm Modul

El programa de guiado es el corazón del sistema SLS-RV. Recibe sus datos de todos los dispositivos anteriormente mencionados. En base a ellos el programa de guiado determina la posición actual de la TBM. La indicación se realiza tanto de forma gráfica como numérica. La facilidad de manejo se asegura mediante la superficie usual de Windows.

## Editor de trazas

El editor de trazas gráficamente interactivo permite la inspección de la traza de referencia almacenada, su revisión y en caso necesario su ajuste. Este permite el retoque de la traza de referencia, la extracción de mediciones de error por separado y la importación de una nueva traza de referencia en base a una medición de control anterior.

## Configuración de aparatos

