

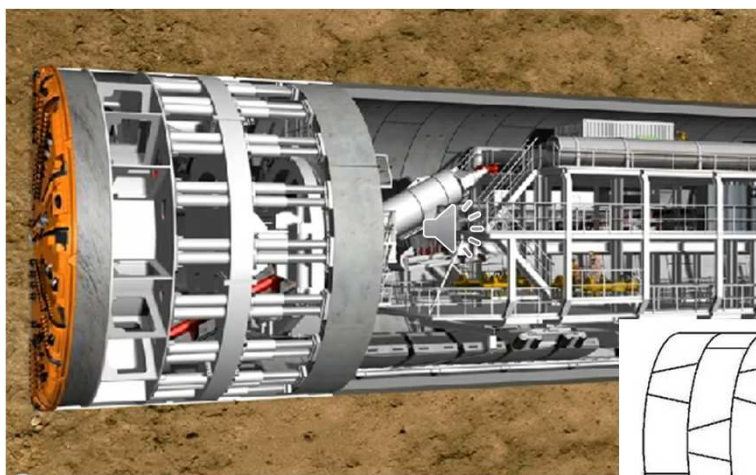
Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### INTRODUCCIÓN



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### INTRODUCCIÓN



[http://www.youtube.com/watch?v=BLTisnM\\_K6c](http://www.youtube.com/watch?v=BLTisnM_K6c)  
[http://www.youtube.com/watch?v=qx\\_EjMlLgqY&feature=endscreen](http://www.youtube.com/watch?v=qx_EjMlLgqY&feature=endscreen)

Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### INTRODUCCIÓN

- Navegación en orden de kilómetros
- Desvío de la TBM planialtimetrico es de 300 mm.
- Longitud de las TBMs que ronda entre los 100 m y 150 m.
- Navegación mediante una " poligonal abierta".



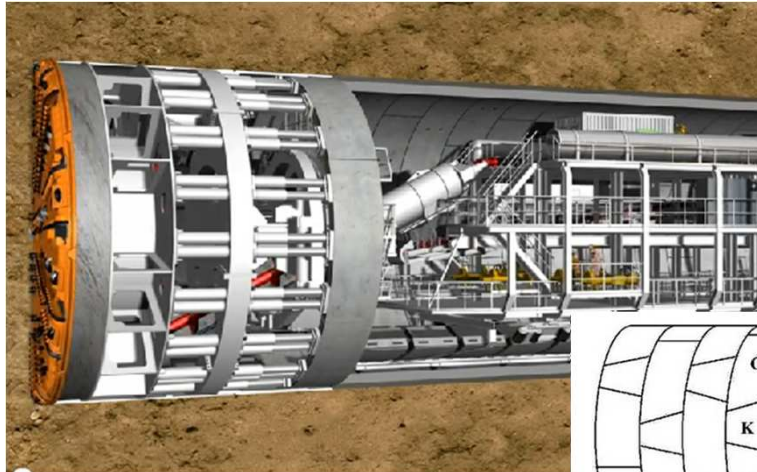
Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### INTRODUCCIÓN

- Túnel para vías de trenes (media y alta velocidad).
- Perforación en medio Urbano.
- 2 túneles pseudoparalelos de 3 km 500 m cada uno.
- Diámetro de TBM 7.00 m.
- Recubrimiento con Dovelas de 30 cm de espesor.
- 8 galerías transversales de interconexión (cercha, malla y gunita).
- Terreno heterogéneo (arcilla, limos, arenas y grava).
- Recubrimiento promedio entre 14 m y 25 m, con zonas complejas donde no superan los 5 m.
- 4 futuras estaciones de metro intermedias.

Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### DE LAS TUNELADORAS



**Escudo Simple,  
Earth Pressure Balance Tunnel Boring Machine**

Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### DE LAS TUNELADORAS

- Rueda de corte (bajo la acción combinada de presión y rotación es la encargada de romper el suelo).
- Rodillo sin fin (por este medio se transporta el material de la cabeza a la cinta transportadora)
- Cinta transportadora A (está fija en la estructura de la máquina y es la que transporta el material a la cinta transportadora B)
- Cinta transportadora B (transporta el material recibido de la cinta A, y lo transporta al exterior. Ésta acompaña la dimensión del túnel y puede ser impulsada por motores intermedios - Booster)
- Cilindros o Gatos (son los encargados del empuje, en función de la diferentes combinaciones se determina la trayectoria de la máquina, entre otros elementos)
- Erector de dovelas (sistema hidráulico encargado de colocar las dovelas que formarán el anillo)

Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### DE LAS TUNELADORAS

- Dovelas (prefabricado de acero y hormigón que combinadas forman el anillo, su geometría es una superficie de cónica que en función de la posición de la "clave" genera las diferentes direcciones)
- Mesa de dovelas (depósito en máquina de los anillos siguientes).
- Cabina de mando (controles de pilotaje y controles topográficos)
- Circuito topográfico (Estación total, video target, caja de comunicación, módem konverter y computador a bordo).
- Talleres u oficinas (eléctricos, soldadores, mecánicos, topógrafos, etc).
- Tanques; mortero, bentonita, agua, etc.

Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### EQUIPOS

#### Integración del Equipo.

En máquina o de navegación: jefe de equipo, piloto, erectorista, eléctricos, mecánicos, soldadores, agrimensores, topógrafos, maquinistas de trenes, obreros, y especialistas directos de la firma que fabrico la máquina.

En oficinas: jefe de obra y oficinas consecuentes al listado precedente con información a tiempo real de los comandos del piloto y del sistema de guiado topográfico, pero sin posibilidades de intervenir (en nuestra obra).

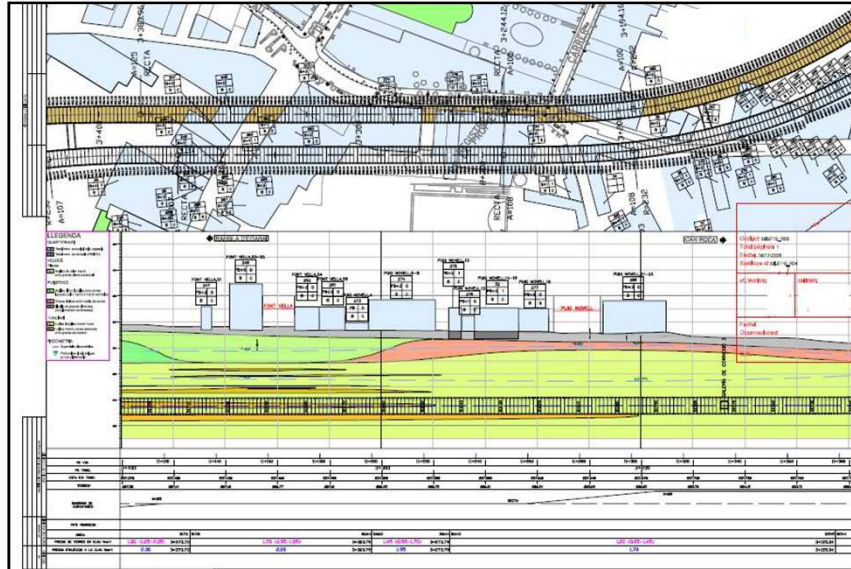
En el exterior: oficinas de fabricación del guiado topográfico.

#### Del Departamento de Topografía

- Topografía de Túnel: poligonal interna, guiado de tuneladora, nivelación, etc.
- Topografía de exteriores: poligonal externa, nivelación, estaciones subterráneas, replanteos en caso de emergencia: inyecciones, sondeos, pantallas, etc.
- Auscultaciones: determinación de movimientos de las estructuras existentes o del terreno natural, etc.

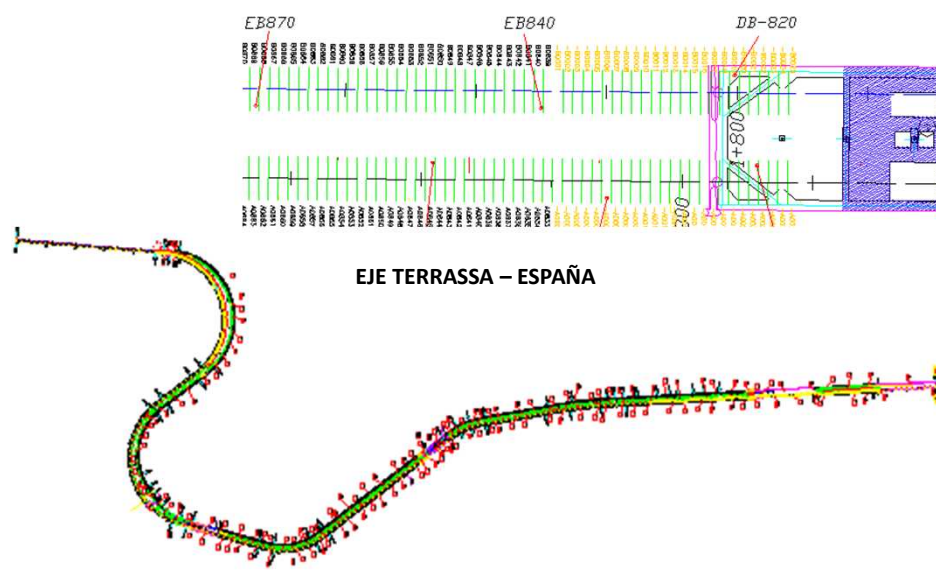
Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

**DEFINICIÓN DEL EJE DE TUNEL**



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

**DEFINICIÓN DEL EJE DE TUNEL**



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### DEFINICIÓN DEL EJE DE TUNEL

- establecer los diferentes ejes y razantes .
- principal insumo el **perfil geológico**.

#### Variables Físicas

- Recubrimiento mínimo. (distancia permitida desde la superficie hasta la tuneladora)
- Ancho y alto de la capa o capas elegidas.

#### Variables Geométricas

- Rectas, curvas y acordamientos circulares. (tren de media y alta velocidad)
- Pendientes y acordamientos verticales.

Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### DE LAS REDES

#### Planimétrica

- Red exterior de la superficie.
- Red interior del túnel.
- Poligonal (abierto) de guiado.

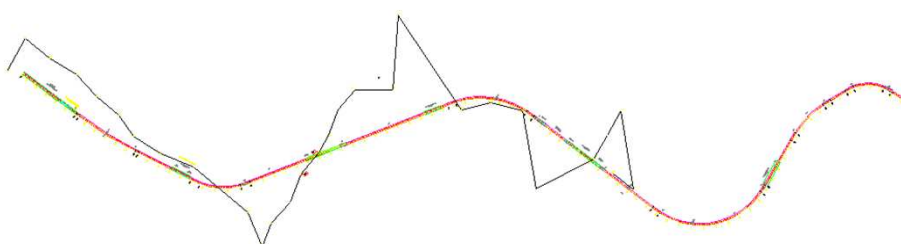
Estas redes, son diferentes en geometría, métodos e instrumental.

#### Altimétrica

- Se realiza Nivelación de precisión.

Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### DE LAS REDES – RED EXTERIOR



**RED EXTERIOR - TORONTO CANADÁ**

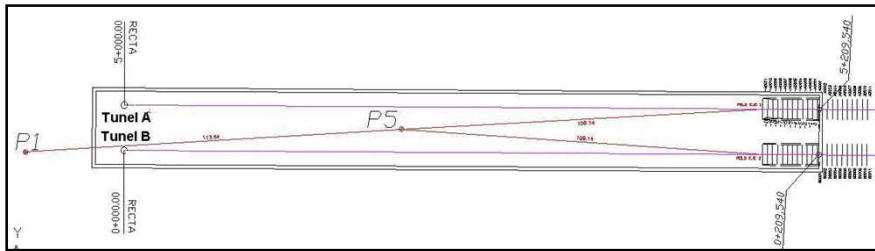
Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### DE LAS REDES – RED EXTERIOR

- Deben estar definidos los pozos de ataque y los ejes de los túneles.
- Método que asegure la homogeneidad de los resultados en los puntos de entrada o salida de ambas bocas del túnel.
- La red se realizó con GNSS (ventajas considerables).
- Importante la geometría de la red, (triángulos equiláteros y romboides).
- Por último, se realizó una poligonal con ET, desde el pozo de ataque hasta la última estación realizando anillos entre bases GNSS.
- Monumentación (fácil acceso y Centrado forzoso).

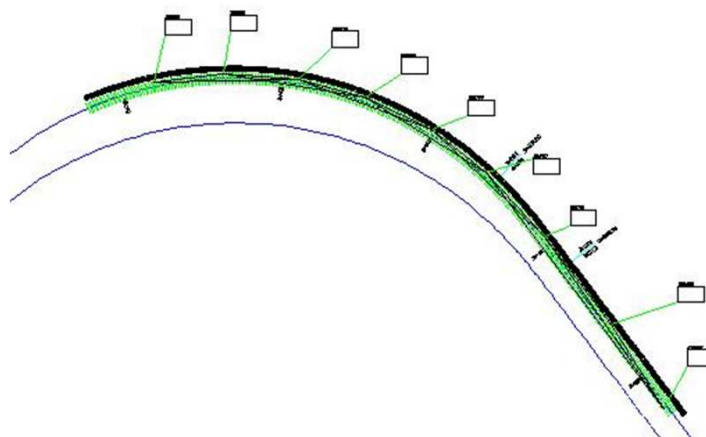
Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

**DE LAS REDES – RED EXTERIOR**



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

**DE LAS REDES – RED INTERIOR**





Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### DE LAS REDES – RED INTERIOR

Los diseños de las redes interiores, la realizamos básicamente para corregir lo “ya replanteado”, visto que el guiado de la máquina se realiza por medio de una poligonal abierta. **Ajustamos** con esta poligonal, la **posición de la máquina respecto al eje teórico**.

- Diseño geométrico (absolutamente acotados y limitados).
- Una poligonal en 6.00 m de ancho por más de 3500 m de largo.
- Distancia promedio establecido entre los vértices fue de 150 m.
- **No hay más punto de control que los puntos P1 y P5.**
- Se realiza a medida del avance de la máquina.
- Monumentación (ménsulas con centrado forzoso diseñadas con anterioridad)
- La poligonal se realizó principalmente a Izquierda y Derecha y en algunas curvas se utilizó un solo margen.

Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### DE LAS REDES – RED INTERIOR

#### Características para captura de datos:

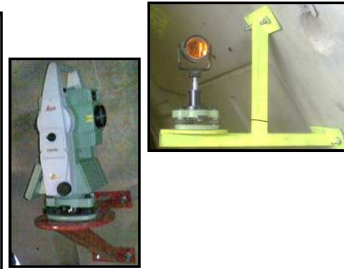
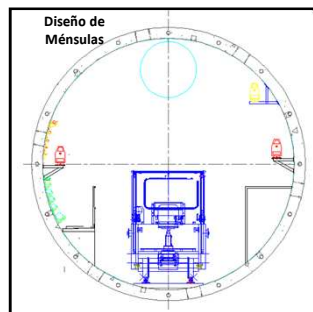
- Estación Total (3", necesidad de ATR - Automatic Target Recognition)
- Prisma en base nivelante
- Puntos en izquierda y derecha con nomenclatura universal.
- Medición automática de series (Directo e Inverso, total: 6 datos desde una estación, al menos dos estaciones diferentes, mínimo 12 datos por punto).
- Control de Tº, Pº, Hº.
- Visualización al menos dos bases atrás y dos adelante.

Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### DE LAS REDES – RED INTERIOR

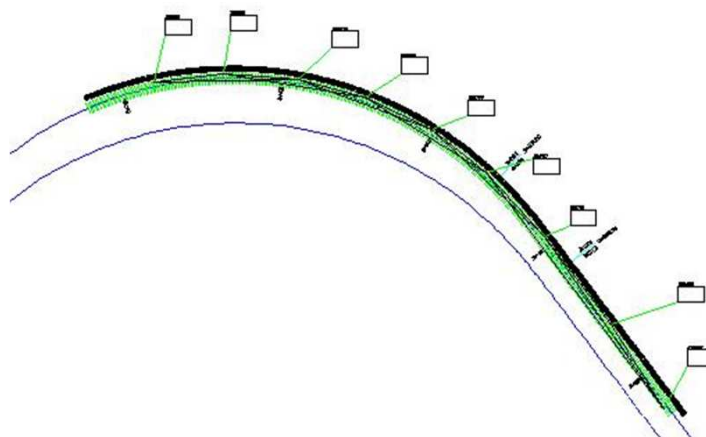
#### Los cálculos

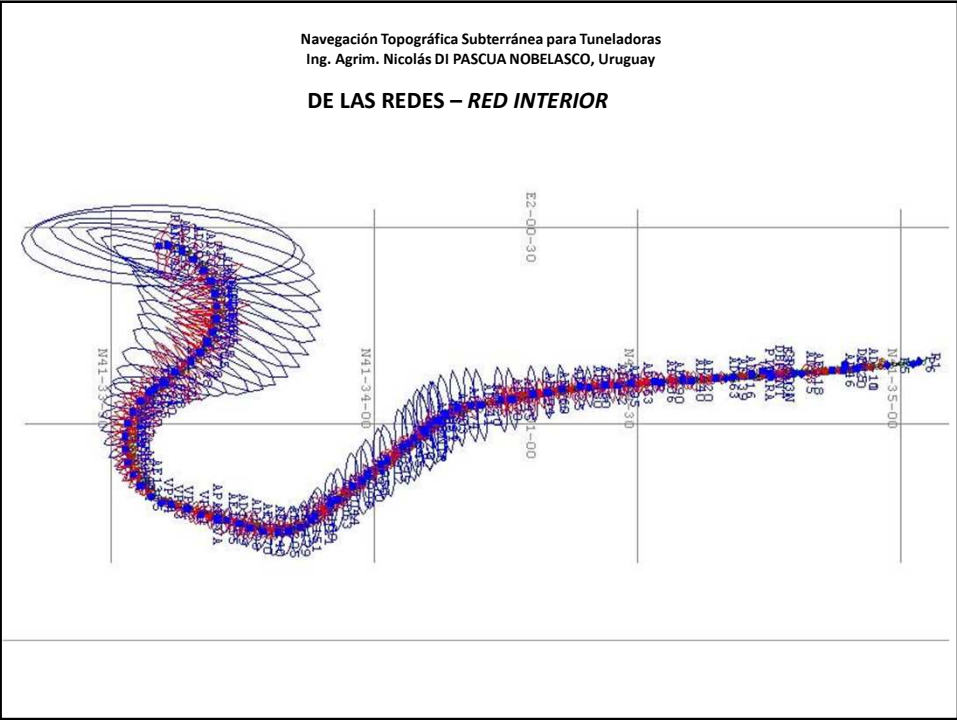
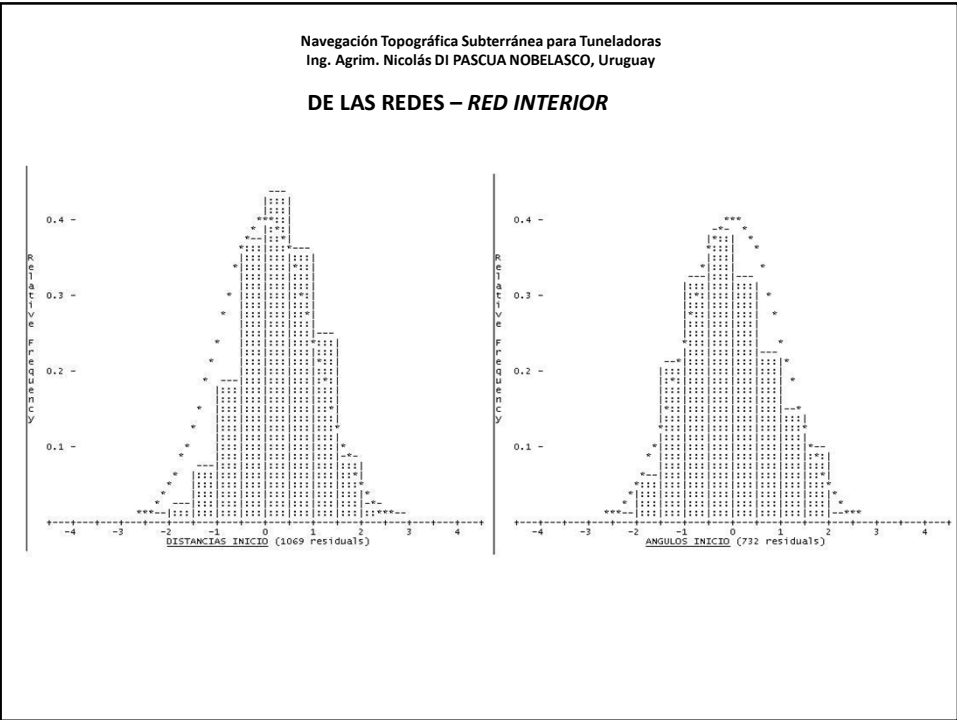
- Se calculan coordenadas por mínimos cuadrados.
- La elipse de error máxima fue de 30 mm al final del túnel.
- El error se incrementa a medida que se avanza.



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### DE LAS REDES – RED INTERIOR

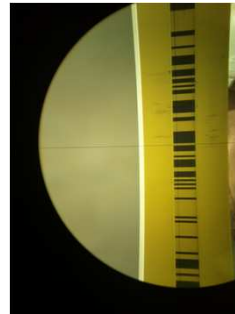




Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### DE LAS REDES – RED ALTIMÉTRICA

- Se realiza : red exterior e interior.
- Nivelación geométrica de precisión.
- Metodología: "doble y simultánea".
- Lectura automática y con mira invar
- Monumentación (barra de hierro amurada con taco químico).
- Nomenclatura universal en la red interna.



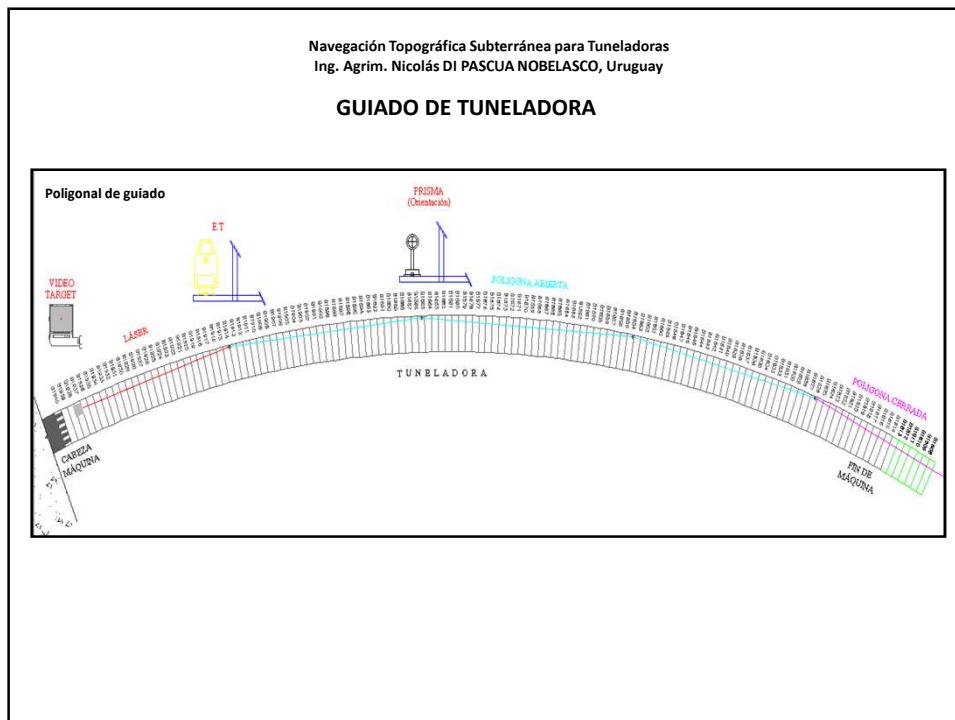
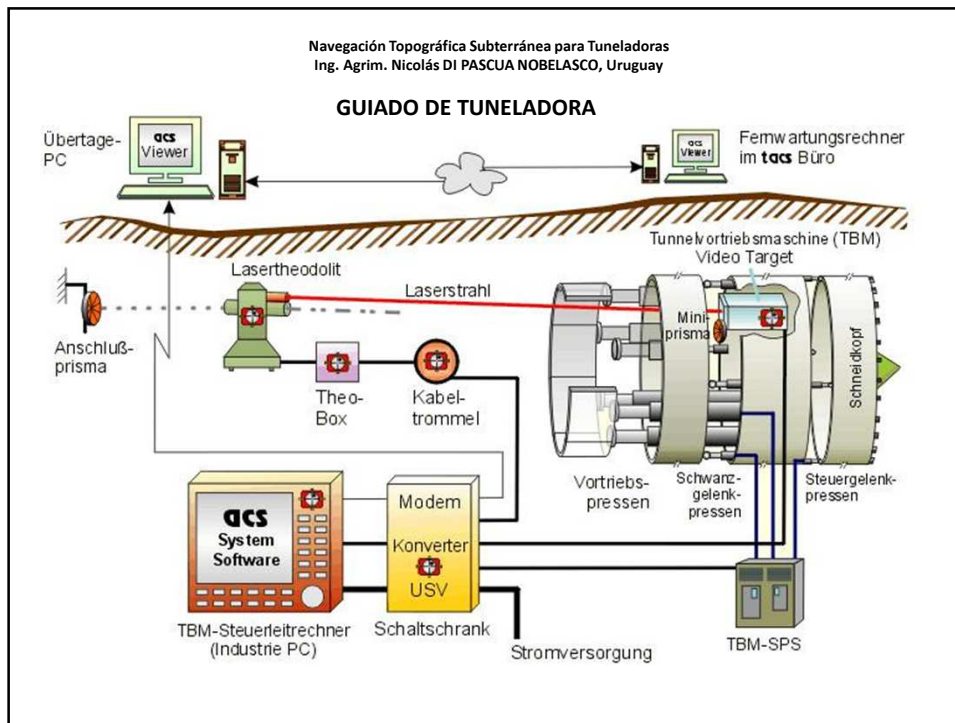
Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### GUIADO DE TUNELADORA

Para guiar la máquina, se utiliza un Sistema de Guía que se compone de hardware, software y elementos específicos que crean la posibilidad de la **determinación continua de la posición**.

#### Componentes del Sistema

- ET con láser externo. (láser ajustado de forma paralela al eje óptico).
- Video Target (VT, blanco del láser, que determinará la posición. Miniprisma adosado).
- Prisma de orientación en base nivelante.
- Caja de comunicación y derivación del control automático o manual, entre la ET Computador industrial.
- Cable de datos (extensible).
- Módem Konverter (recibe: datos de ET, VT, extensión de gatos, dirección de la articulación, etc).
- Computador industrial (computador a bordo de guiado).
- Posibilidad de comunicación de datos al exterior del túnel
- Computador en superficie (oficinas)
- Computador soporte (oficina de fabricación del Sistema de guiado).



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### GUIADO DE TUNELADORA

#### Metodología del guiado

- Orientación entre **dos puntos conocidos**. Uno atrás (colocación del prisma) y uno adelante (colocación de la ET).
- Puntos **radiados**. (Por lo que el grado de certeza está directamente ligado a la prolijidad del proceso en cada "cambio")
- **Poligonal abierta**
- "**Cambio**" se define, al proceso de incrementar una base la ET, cambiarla y reorientarla.
- Se realizan en forma regular tanto en recta como en curva, variando la distancia entre de cambios en función de la geometría del trazado.
- cambios excepcionales. ( visualización, pérdida del punto, etc)
- La **distancia óptima** fue de **60 m** (en recta) unos 40 anillos. Esto no significa que no se puedan realizar a mayor distancia sin inconveniente. Si la máquina lo permite, se pueden realizar a más de 100 m o incluso a mayor distancia que el total de la tuneladora. El problema de esto último, es que la base de orientación quedaría afuera de la máquina (en el tunel) y hay un verdadero "**cambio de medio**" (reverberación).

Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### GUIADO DE TUNELADORA

#### Metodología del guiado

- La **orientación**, puede realizarse de forma **automática** (desde cabina) o **manual** (desde ET y cabina). En este proyecto se utilizaron las dos formas sin inconveniente.
  - Se deberá **calibrar** regularmente en cada cambio el láser con los instrumentos de calibración.
  - Por ser una poligonal abierta y al acumular errores intrínsecos de la operación, no hay más remedio que cerrar (planimétricamente) el punto de la ET. Altimétricamente la cota sigue siendo trigonométrica ya que no hay posibilidad de tocar el punto de la ET con el nivel.
  - Cerrar el punto ET, se hace en función del avance realizado, o necesidad. A este procedimiento se le llama "**corrección**", corregimos X, Y, Z. *no confundir con "cerrar" los puntos de posición de la máquina, éstos siguen siendo abiertos. Ej. ET rad (7424.21; 7937.12;123.62) ----- ET (7424.24; 7937.16;123.64)*
  - Los parámetros del posicionamiento cambian y estaríamos en la "**verdadera posición**". Esta corrección la podemos realizar en una sola acción, o realizar correcciones parciales de tal forma de realizar una transición a la verdadera posición.
- Aquí es cuando ajenos a nuestra profesión, se preocupan por los cambios en la posición, pero en realidad la consigna es "**preocuparse si un equipo de topografía no realiza correcciones**".

Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

**GUIADO DE TUNELADORA**



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

**GUIADO DE TUNELADORA**



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### GUIADO DE TUNELADORA



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### GUIADO DE TUNELADORA

#### Principales componentes:

- Número de avance (coincide con el Nro de anillo).
- PK (metros de avance)
- Puntos de referencia (desviación H y V respecto el eje, de los puntos cabeza y cola)
- Desviación angular (desviación H y V respecto al eje)
- Visualización gráfica de la posición (flecha tridimensional)
- Tolerancia (círculo punteado, en caso de mayor desplazamiento se genera una elipse punteada)
- Barras de avance en valor %: del túnel y del avance (perforación).
- Cilindros de propulsión (Elongación de los gatos 7, 8, 19, 20).
- Rodadura e Inclinación.
- Eje de diseño (círculos cyan).
- Curva de corrección (línea magenta, para evitar el daño en los anillos).
- Status de la medición automática (verde-amarillo-rojo, estado del funcionamiento automático)



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### CALADO DE LAS TUNELADORAS



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### CALADO DE LAS TUNELADORAS

- Momento en el cual se comprueba si se sale dentro de los márgenes de errores establecidos.
- En este proyecto se realizaron un total de **8 calados**.

#### Frontera del Calado

- Contra pantallas verticales.
- Micropilotes en forma de "paraguas ( longitud de 15 m)
- Micropilotes perforados a **30 cm** de la salida teórica de la máquina.
- Distancia del suelo de la Estación o boca de calado, también a **30 cm**.

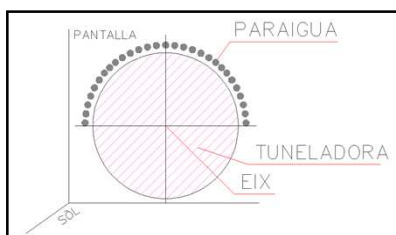
Esta figura compuesta por los límites "suelo y paragua", la podemos considerar como la frontera física de la salida de la tuneladora.

Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### CALADO DE LAS TUNELADORAS

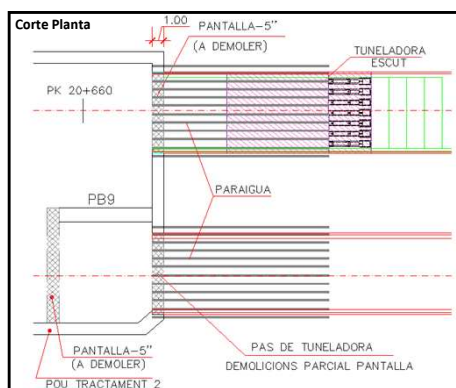
No es solo el perfil de la rueda de corte debe pasar por estos límites, sino que también los más de 150 m de largo de la tuneladora. Lo que significa que **buen cale**, es aquel que llega **correctamente a destino no solo en posición, sino también en dirección.**

Es por eso que, **el solo pensar que el desvió está acotado a tan solo 300 mm en vertical y horizontal, después de navegar realmente a ciegas, sin más comprobaciones que las comprobaciones y ajustes que hagamos desde los lugares que ya transitamos, y por longitudes de kilómetros, hace todo esto un verdadero desafío topográfico**



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

### CALADO DE LAS TUNELADORAS



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

**CALADO DE LAS TUNELADORAS**



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

**CALADO DE LAS TUNELADORAS**



Navegación Topográfica Subterránea para Tuneladoras  
Ing. Agrim. Nicolás DI PASCUA NOBELASCO, Uruguay

**CALADO DE LAS TUNELADORAS**

