



**PRIMERA LINEA DE METRO DE QUITO:**

**SISTEMAS CONSTRUCTIVOS**

**Quito, 26 de marzo de 2012**

**Fernando Díez Rubio**  
**Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos**





1. Consideraciones generales
2. Caracterización geotécnica del trazado
3. Factores de selección de los métodos constructivos
4. Métodos seleccionados
5. Cut and Cover: estaciones y túnel de línea
6. Excavación convencional
7. TBM en modo EPB
8. Plan de obra
9. Seguimiento de las obras



# 1.- Consideraciones generales

- Comunidad de Madrid: Metro de Madrid y D.G.I (antiguo MINTRA)
- Experiencia de ambas instituciones:

## ESTADO DE LA RED EN 1995

**164 ESTACIONES**  
**120 KM**

- En 16 años:
  - 163 estaciones
  - 220 Km de línea

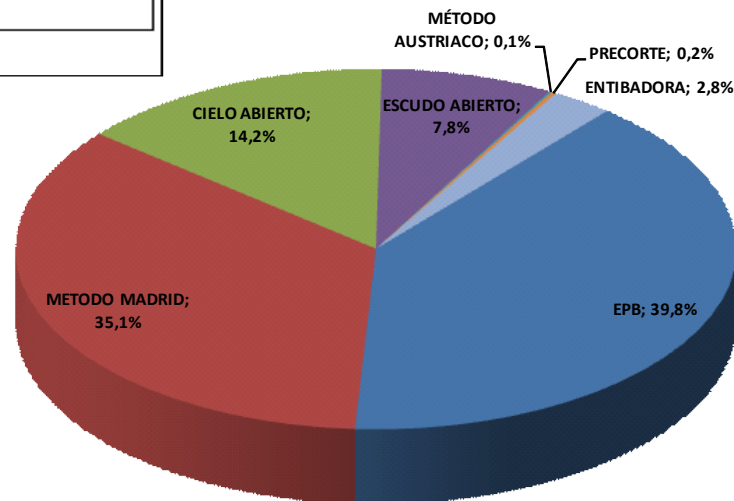
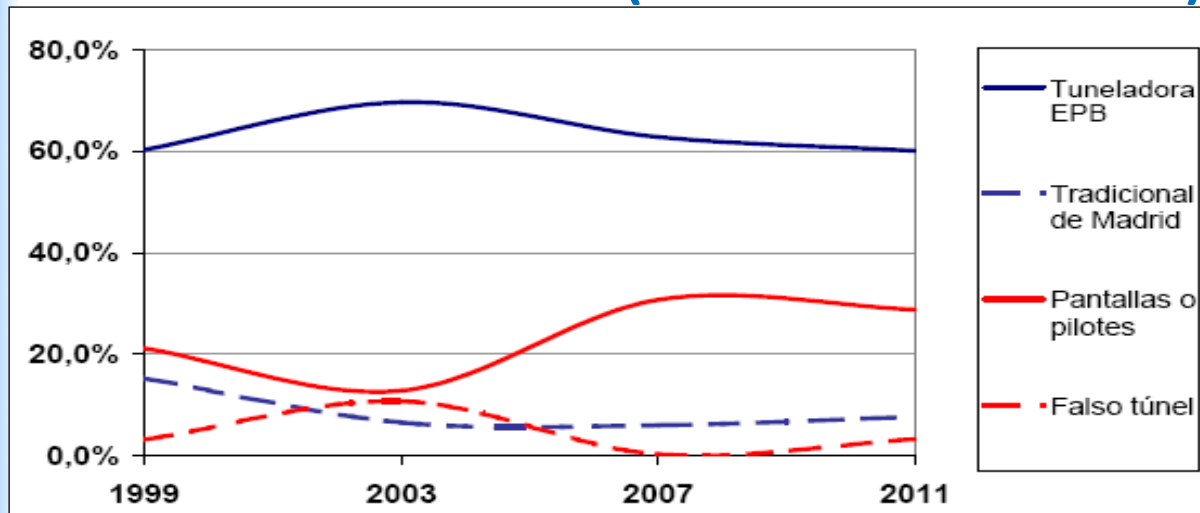
## ESTADO DE LA RED EN 2011

**327 ESTACIONES**  
**330 KM**



# Consideraciones generales

## • Métodos constructivos (en obra subterránea):





## 2.- Caracterización geotécnica del trazado

- Estudio geotécnico del terreno. Fases:
  - Recopilación información: Elaboración de mapas temáticos
  - Propuesta de campaña de reconocimiento:
    - Criterios: ensayos de campo y laboratorio
    - Unidades
  - Ejecución de la campaña en dos fases
  - Ensayos laboratorio
  - Informe geotécnico



# Unidades

RELLENOS	R	RELLENOS ANTRÓPICOS	LIMO ARCILLO-ARENOSO CON FRAGMENTOS DE LADRILLOS, BOLSAS, MADERA, PLÁSTICOS, ETC.
DEPÓSITOS LA CAROLINA	Fl-Ca	DEPÓSITOS LA CAROLINA. PALUSTRE-LACUSTRE Y ALUVIAL	CENIZAS, ARCILLAS, LIMOS Y CAÍDAS DE PÓMEZ
FORMACIÓN CANGAHUA	Cl	CANGAHUA LIMO-ARCILLOSA	LIMOS Y ARCILLAS ARENOSOS
	Ca	CANGAHUA ARENO-LIMOSA	ARENAS LIMOSAS
	Co	CANGAHUA COLUVIAL	ARENAS Y GRAVAS CON ALGO DE LIMOS

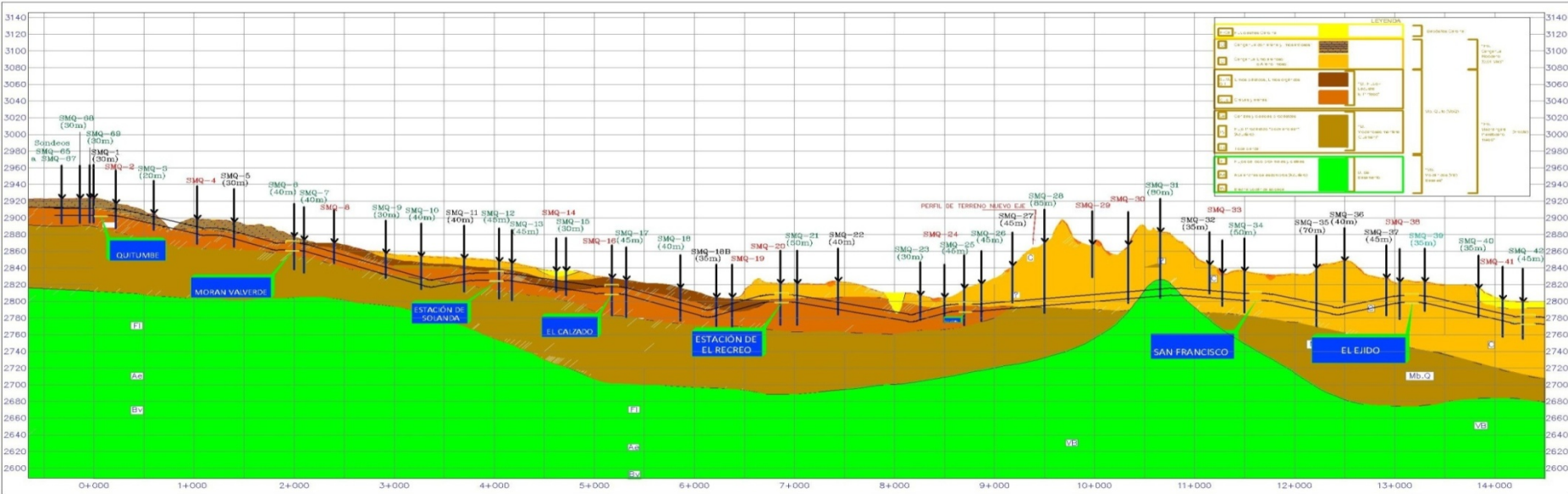


# Unidades

FORMACIÓN MACHÁNGARA	MIEMBRO QUITO	UNIDAD FLUVIO-LACUSTRE EL PINTADO	Tu CH B, A, a	UNIDAD FLUVIO-LACUSTRE EL PINTADO	Tu: TURBAS, PALEOSUELOS Y TOBAS  CH: ARENAS Y ARCILLAS VERDES Y CENIZAS  B, A, a: BRECHAS, ARCILLAS Y ARENISCAS  PRESENCIA DE MATERIA ORGÁNICA
		UNIDAD VOLCANO-SEDIMENTARIA GUAMANÍ	Ce Py	UNIDAD VOLCANOSEDIMENTARIA GUAMANÍ.  CENIZAS Y OLEADAS PIROCLÁSTICAS. FLUJO PIROCLÁSTICO BLOCK AND ASH.	Ce: CENIZAS, LIMOS Y ARCILLAS CON GRAVAS Y BLOQUES  Py: ARENAS GRUESAS GRISES NO CONSOLIDADAS CON GRAVAS Y BLOQUES DE DACITA
			Tb	UNIDAD VOLCANOSEDIMENTARIA GUAMANÍ.  TOBAS BLANCAS	TOBAS BLANCAS
	MIEMBRO VOLCÁNICOS BASALES	UNIDAD DE BASAMENTO	Fl	UNIDAD DE BASAMENTO.  FLUJOS DE LODO (LAHARES)	FLUJOS DE LODO CON GRAVAS Y BLOQUES CON CIERTO GRADO DE CEMENTACIÓN
			Ae	UNIDAD DE BASAMENTO.  AVALANCHAS DE ESCOMBROS	BLOQUES DE ANDESITA EN MATRIZ LIMO-ARENOSA
			Bv	UNIDAD DE BASAMENTO.  BRECHAS VOLCÁNICAS SOLDADAS	AUTOBRECHAS ROJIZAS ASOCIADAS A FLUJOS DE LAVA
			VB	UNIDAD DE BASAMENTO.  ANDESITAS	ROCA ANDESÍTICA AFANÍTICA

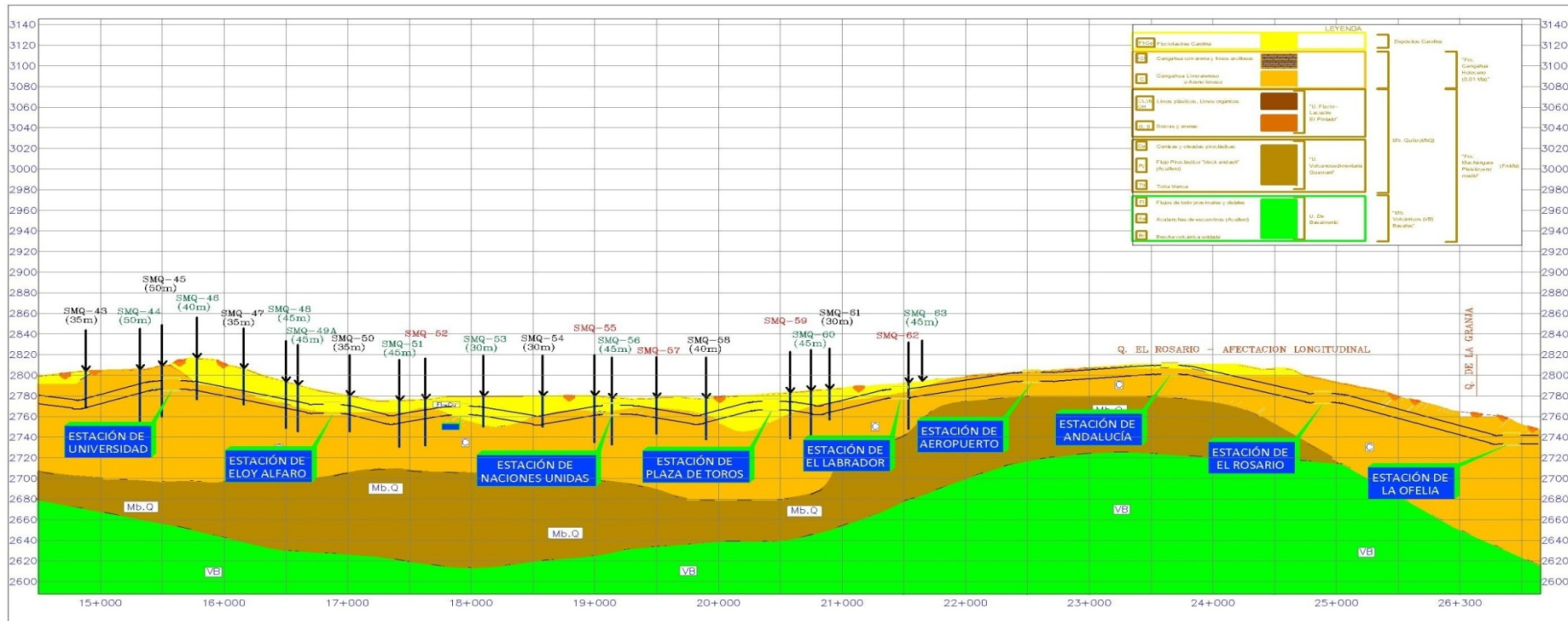


# Perfil geotécnico Sur

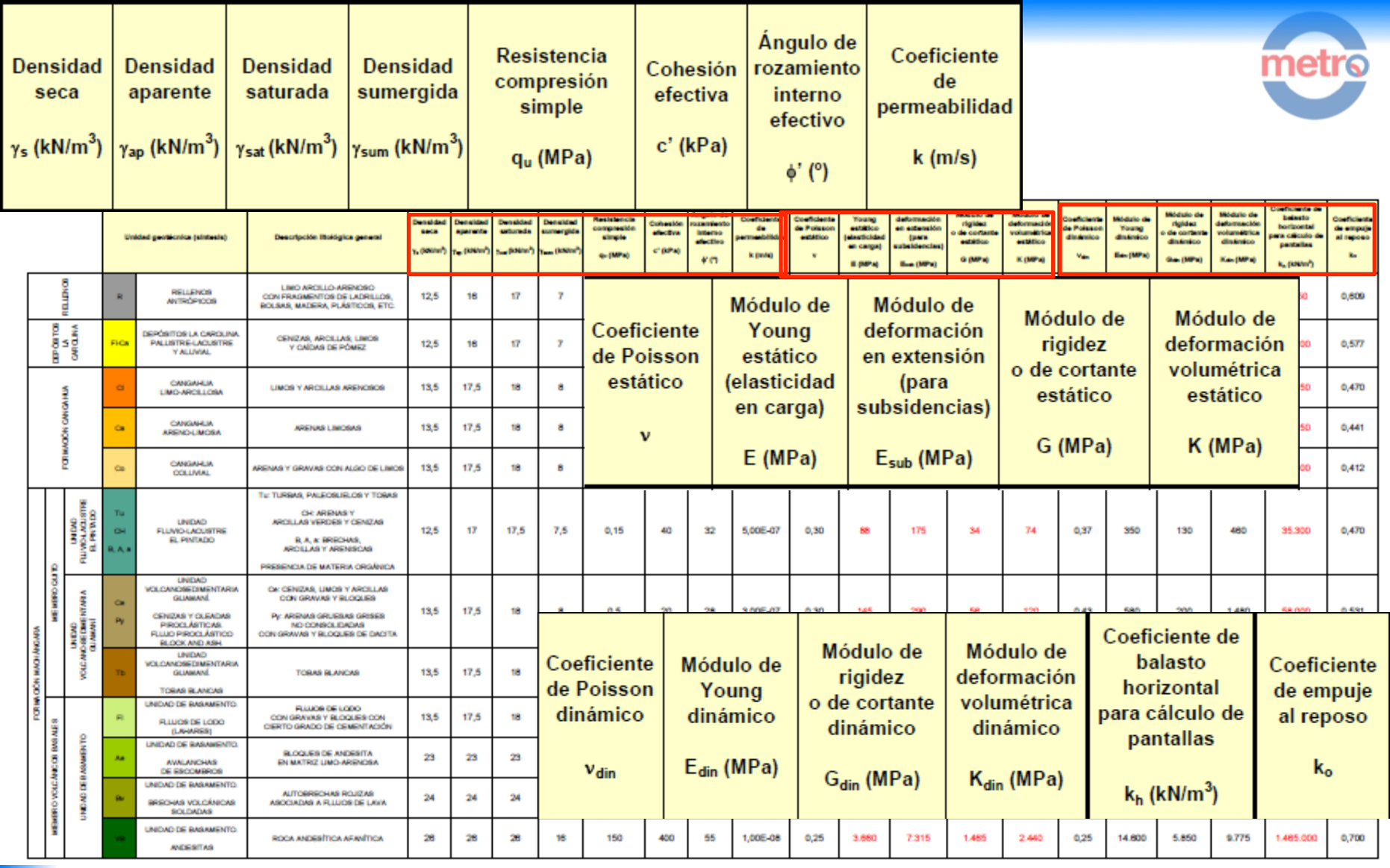




# Perfil geotécnico norte

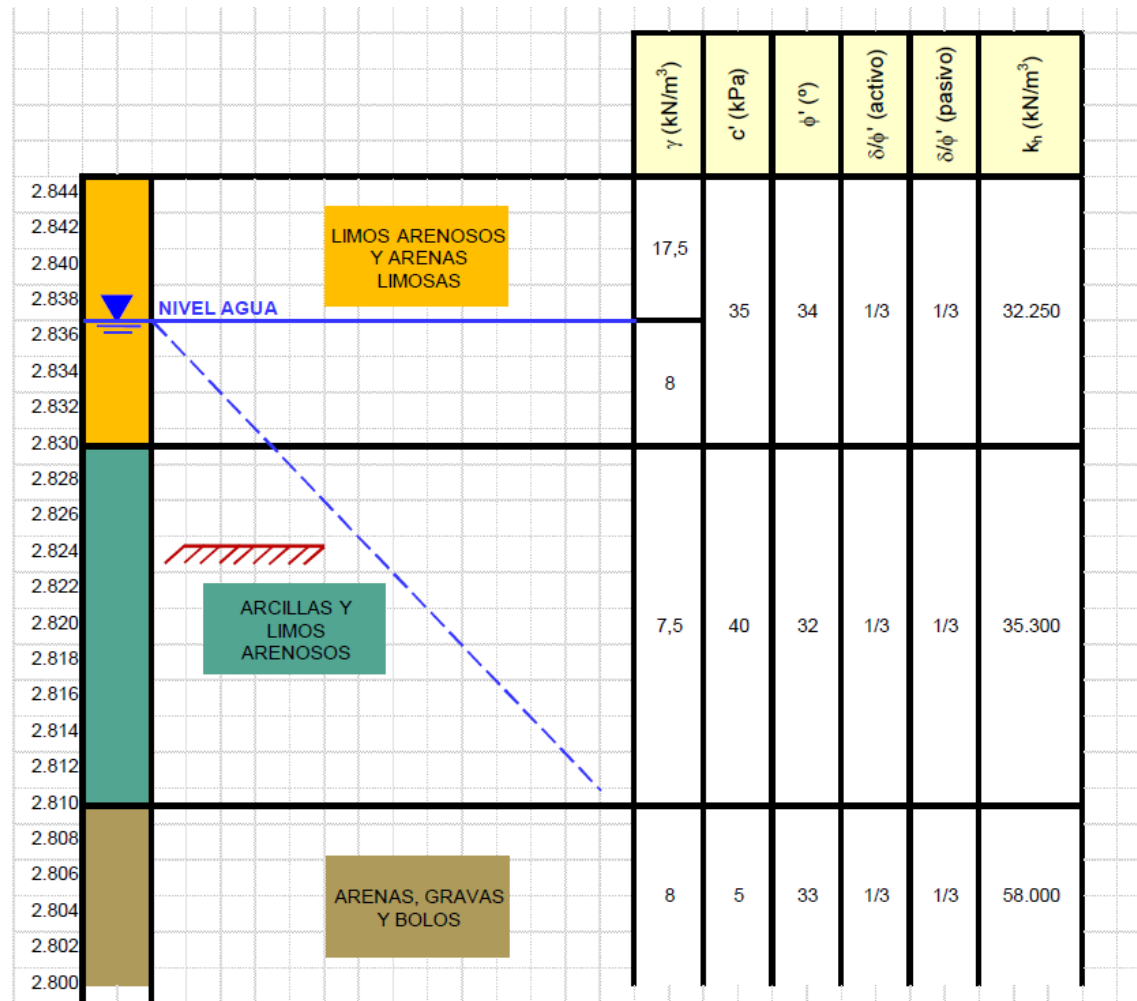








# Perfil estación (Solanda)





### 3.- Factores de selección

- **Condicionantes técnicos propios: región sísmica, presencia de agua, quebradas y colectores y afección al patrimonio**
- **Condicionantes generales:**
  - **Máxima prioridad: seguridad de los trabajadores y del entorno frente a plazo o coste.**
  - **Máxima seguridad para edificios y estructuras minimizando los asentamientos.**
  - **Túnel seguro y estable, minimizando la superficie del frente excavado sin sostenimiento**

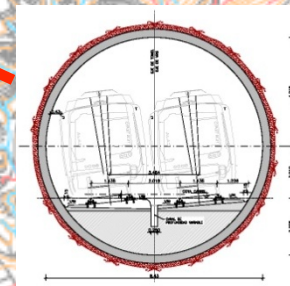
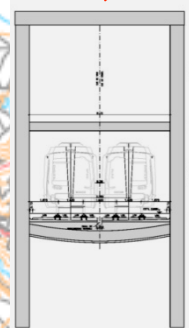
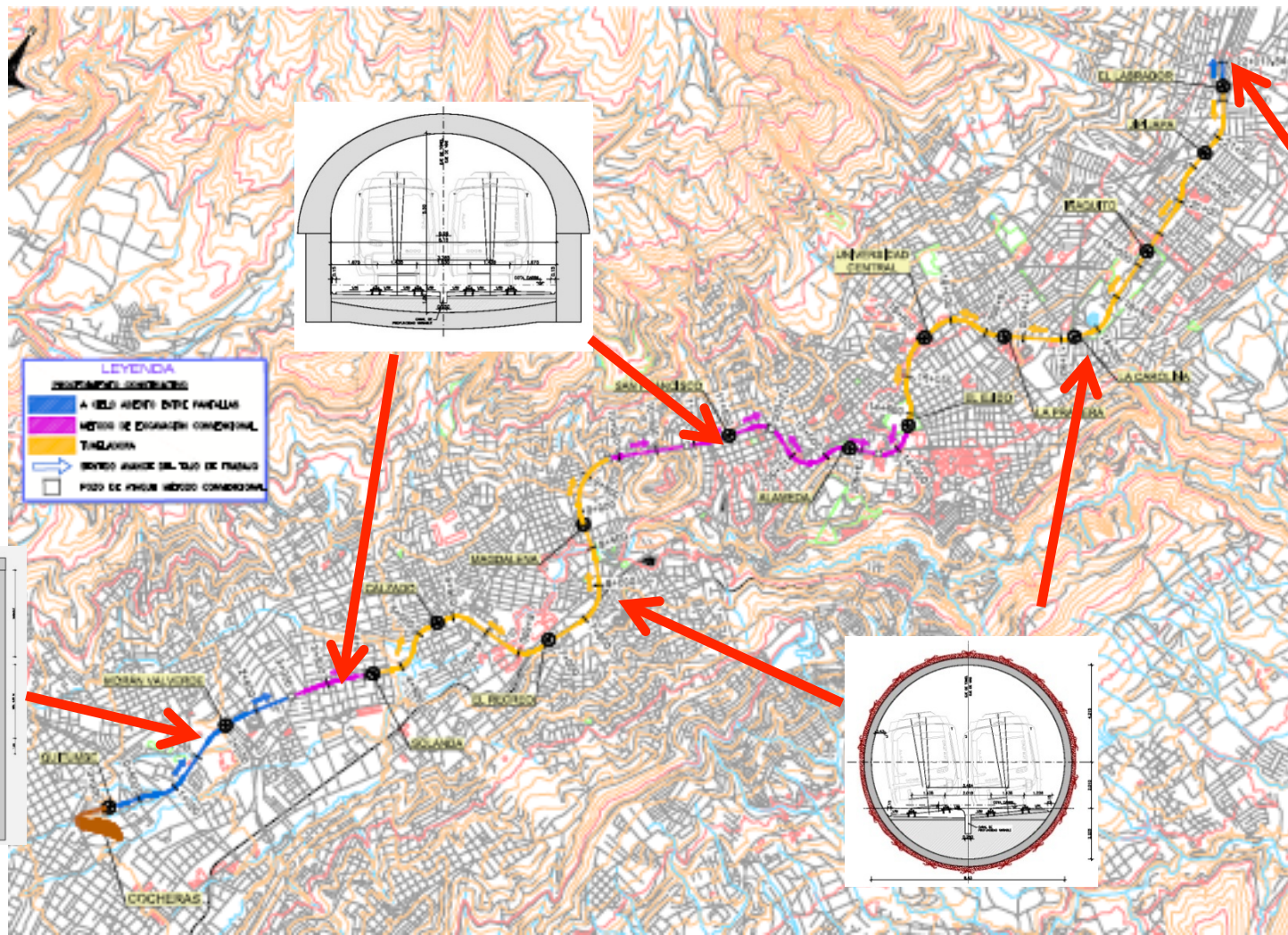


## 4.- Métodos propuestos

- Estaciones. Método cut and cover
- Túnel de línea, ramal a cocheras y fondo de saco del El Labrador
  - Cut and cover: 3700 m (16%)
  - En mina por métodos convencionales: 5500 m (24%)
  - TBM en modo EPB (2 tuneladoras): 13400 m (60%)
- Se analizan tales métodos constructivos



# Métodos constructivos propuestos

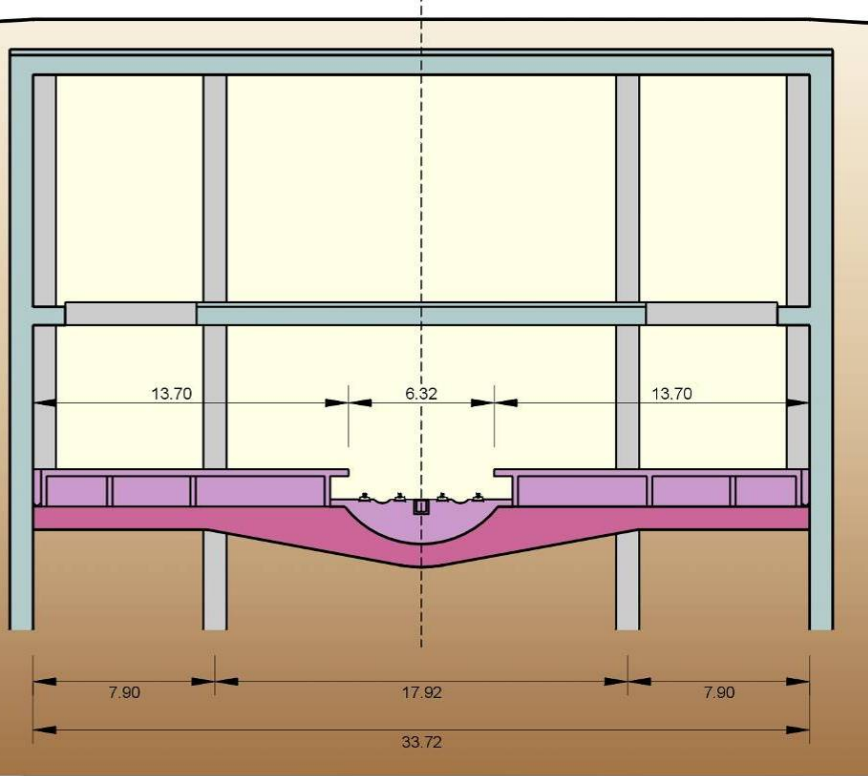




## 5.- Cut and cover

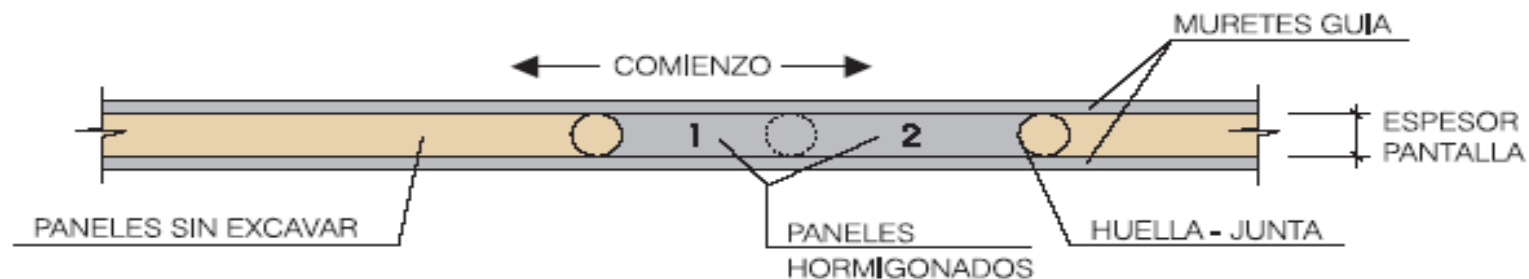
- En estaciones y túnel de línea
- En zona urbana donde el trazado es superficial y no hay edificaciones próximas
- El zonas interurbanas donde no es posible ejecutar el túnel en trinchera
- Utilizadas diversas variantes constructivas: losa superior plana, bóveda ejecutada sobre el terreno, etc.
- Con losa plana, el método es competitivo frente a TBM o Método Madrid para recubrimientos menores a 4 m; con bóveda in situ, recubrimientos menores a 9 m
- Se puede hacer con módulos de pantallas o con pilotes
- Rendimiento: 100 – 125 m/mes



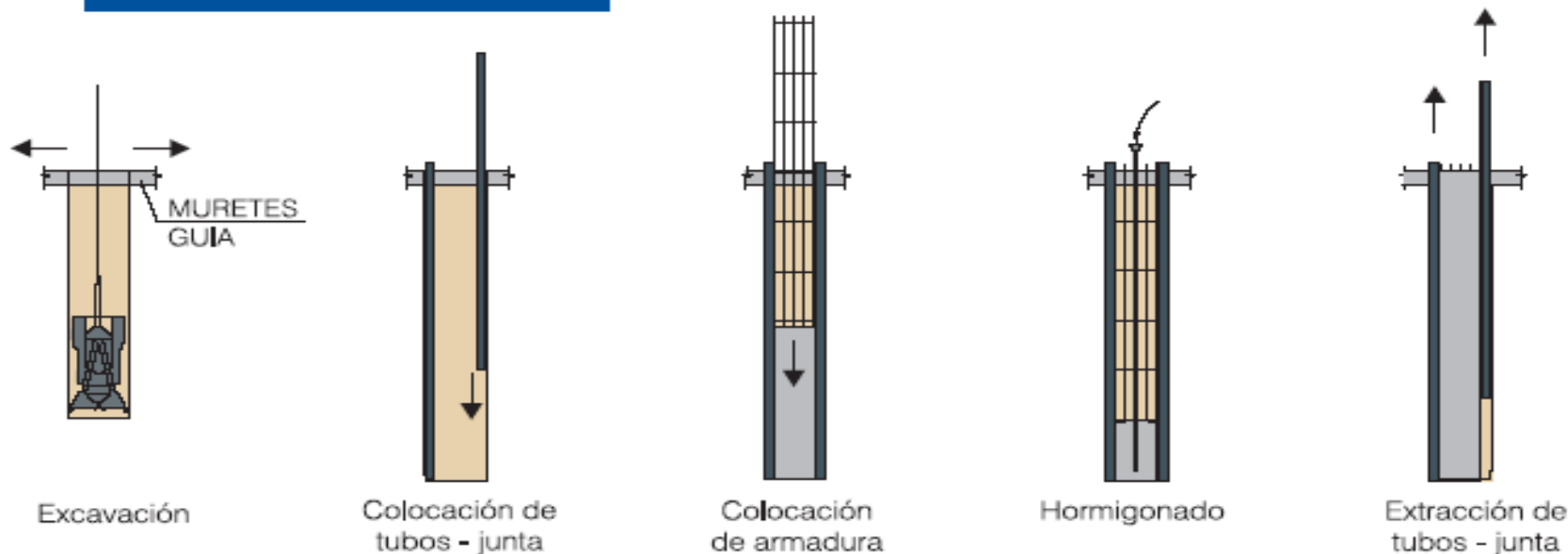




# Ejecución de módulos de pantalla

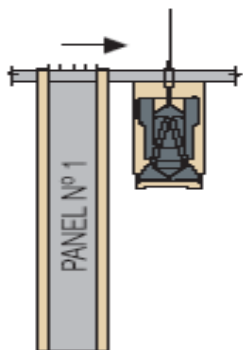


## Ejecución panel nº 1

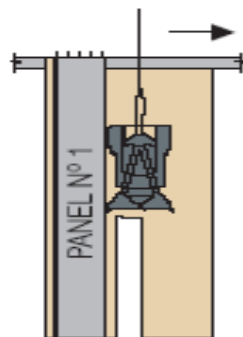




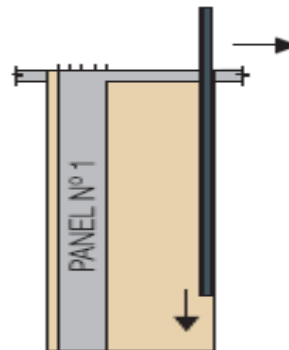
## Ejecución panel nº 2



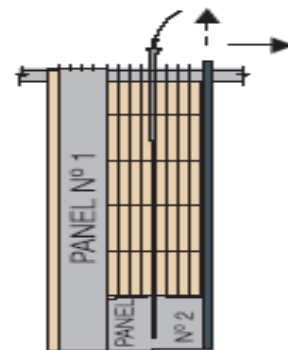
Excavación



Excavación de "tacón"

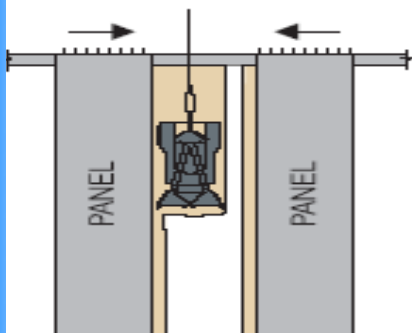


Colocación de tubo - junta

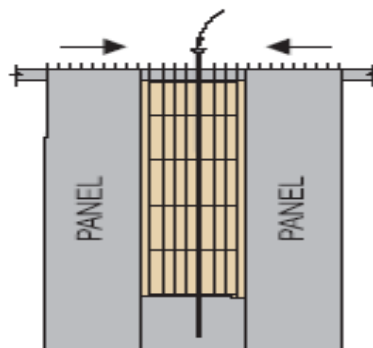


Colocación de armadura, hormigonado y extracción de junta

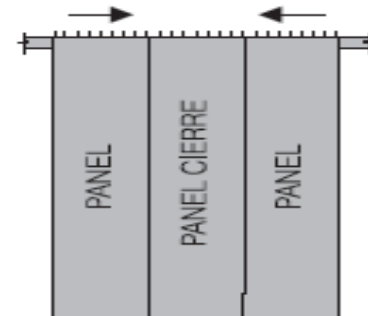
## Ejecución panel de cierre



Excavación



Colocación armadura y hormigonado



Finalización panel de cierre







# Cucharas: hidráulica y de cables





# Grúa para izado armadura

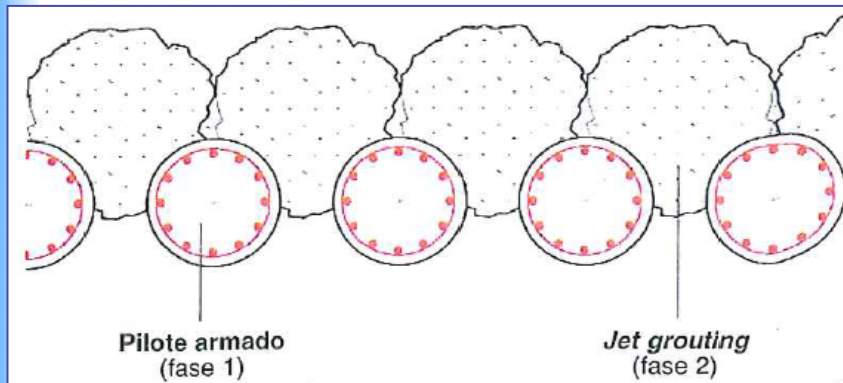
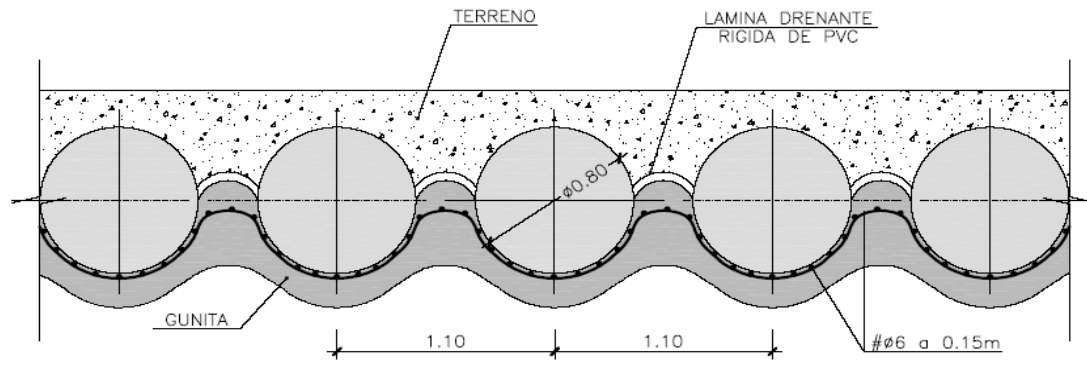




## PRESTACIONES / RENDIMIENTOS

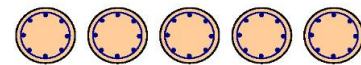




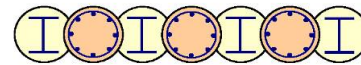
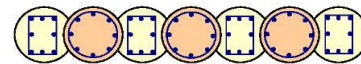
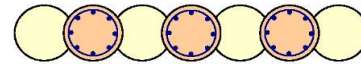


## PANTALLAS DE PILOTES

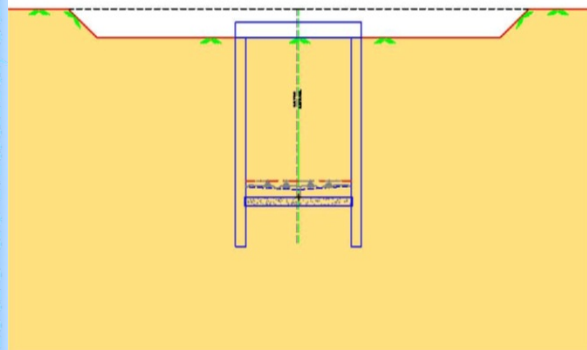
### ▪ Pilotes AISLADOS



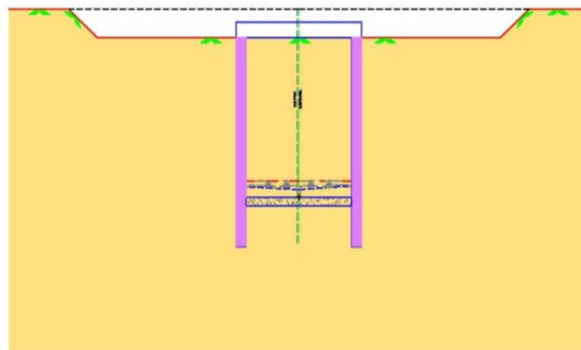
### ▪ Pilotes SECANTES



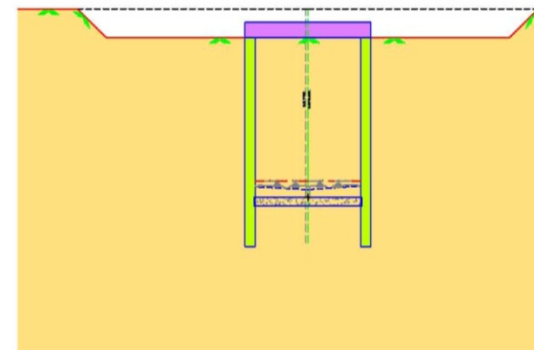




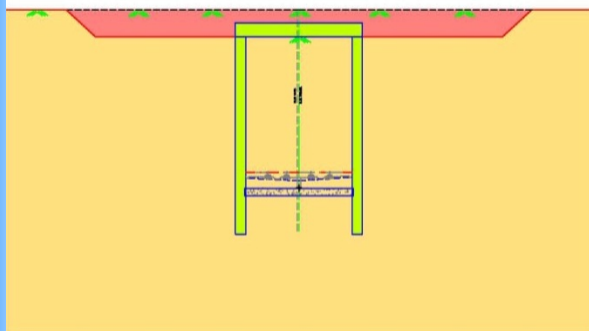
FASE 1.- PREEXCAVACION



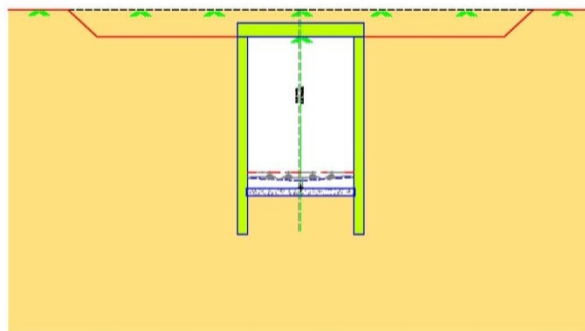
FASE 2.- REALIZACION PANTALLAS Y VIGA DE ATADO



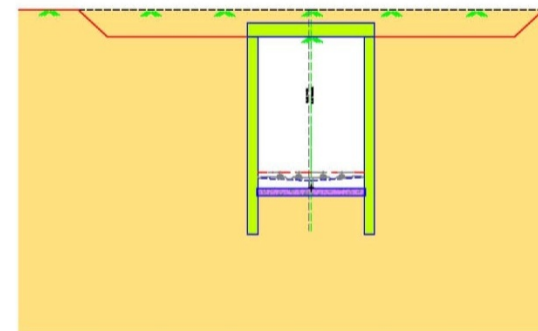
FASE 3.- HORMIGONADO LOSA SUPERIOR



FASE 4.- RELLENO SOBRE BOVEDA Y URBANIZACION



FASE 5.- EXCAVACION HASTA SOLERA



FASE 6.- HORMIGONADO LOSA DE FONDO





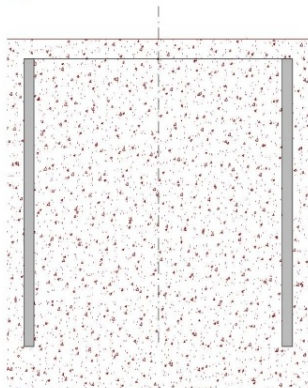
SECCION LONGITUDINAL

NOTA: cubierta con vigas prefabricadas.  
No se puede ejecutar por mitades, hay que cortar la calle entera.

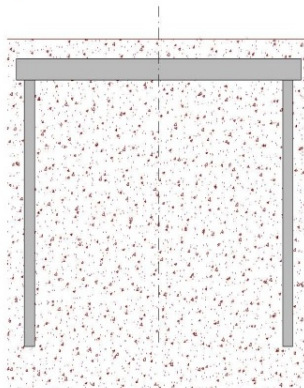


# Estación: Fases constructivas (sistema descendente)

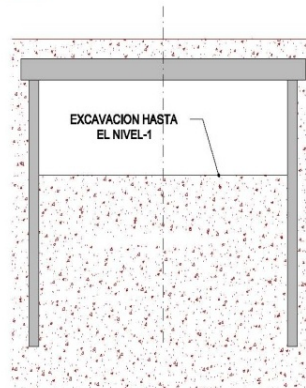
0 PUNTO DE PARTIDA:  
SE EJECUTA PLANTALLAS



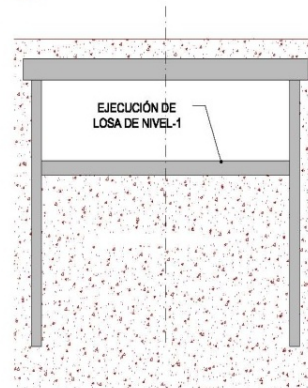
1 FASE1: SE EJECUTA  
LOSA DE CUBIERTA



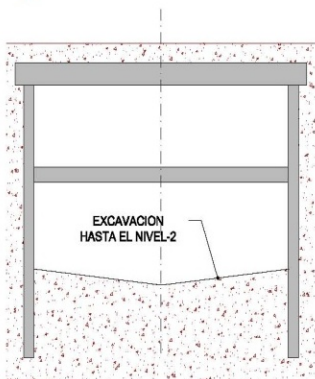
2 FASE2: EXCAVACION  
HASTA EL NIVEL-1



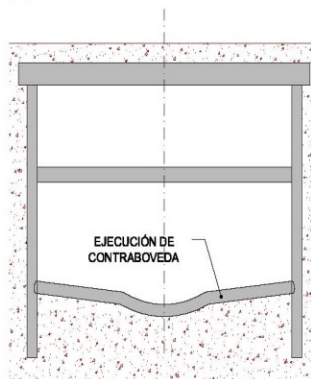
3 FASE3: EJECUCIÓN DE  
LOSA DE NIVEL-1.



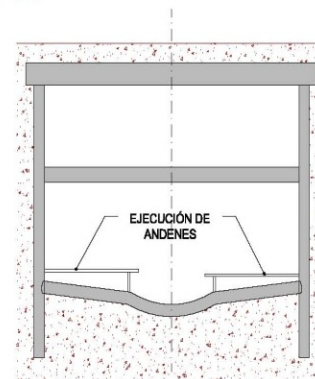
4 FASE4: EXCAVACIÓN  
HASTA NIVEL-2



5 FASE5: EJECUCIÓN  
CONTRABÓVEDA



6 FASE6: REMATE DE LA  
OBRA (ANDENES)

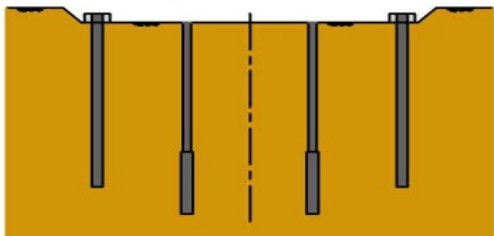




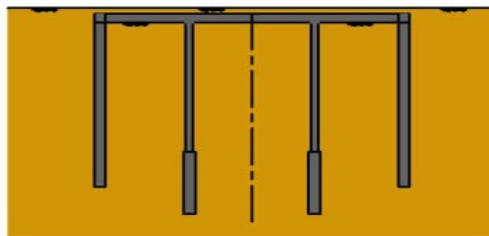


SECCION LONGITUDINAL

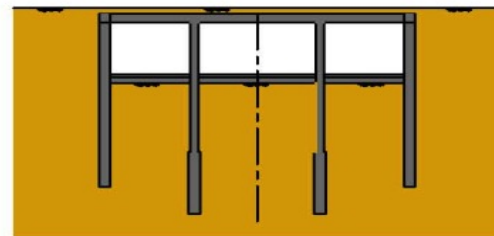




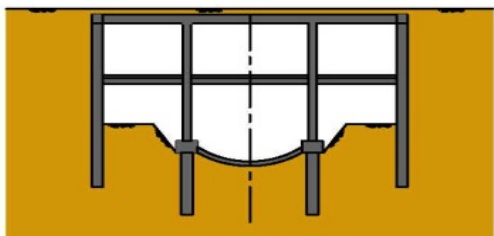
**FASE 1:**  
EXCAVACIÓN HASTA LA PLATAFORMA  
DE TRABAJO Y EJECUCIÓN DE  
PANTALLAS Y PILAS-PILOTE.



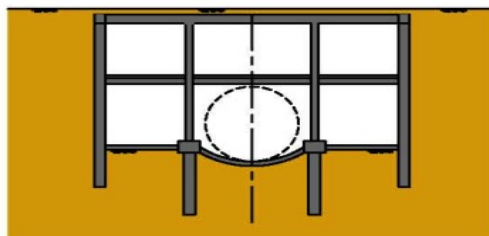
**FASE 2:**  
HORMIGONADO DE LA LOSA DE  
CUBIERTA Y RELLENO SOBRE ELLA.



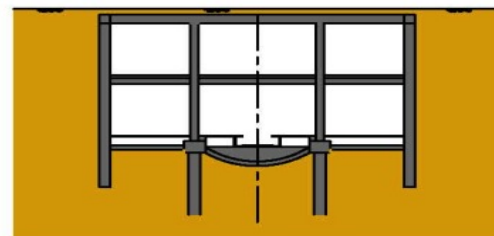
**FASE 3:**  
EXCAVACIÓN HASTA LA COTA  
INFERIOR DE LA LOSA DE VESTÍBULO,  
Y CONSTRUCCIÓN DE LA MISMA.



**FASE 4:**  
DEJANDO BERMAS PERIMETRALES DE  
TIERRAS, EXCAVACIÓN HASTA LA  
COTA INFERIOR DE LA  
CONTRABÓVEDA, Y CONSTRUCCIÓN  
DE LA MISMA.



**FASE 5:**  
RETIRADA DE LAS BERMAS POR  
BATACHES Y CONSTRUCCIÓN DE LA  
SOLERA.  
PASO DEL ESCUDO A LO LARGO DE  
LA ESTACIÓN.



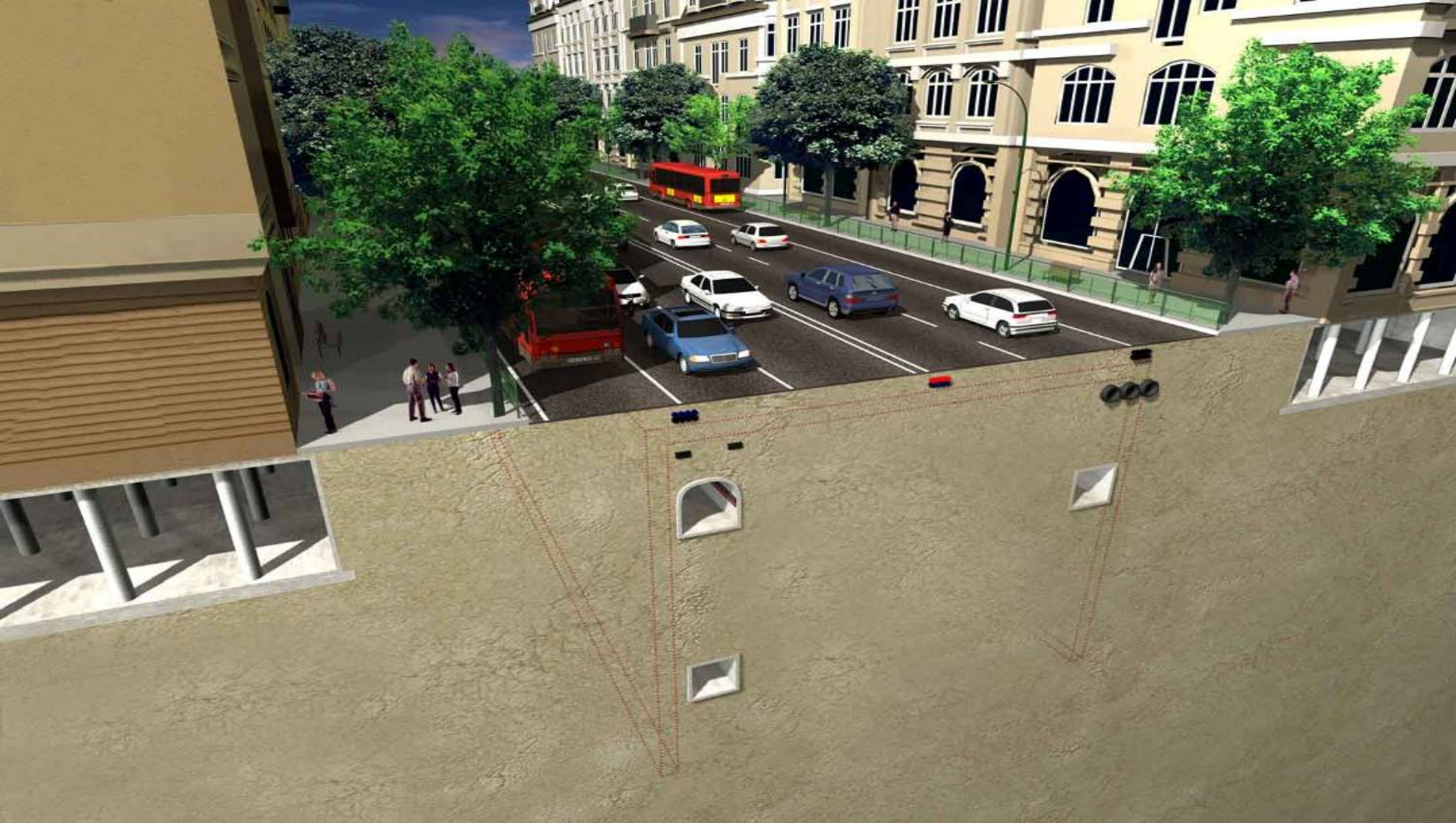
**FASE 6:**  
UNA VEZ QUE HA PASADO EL  
ESCUDO, RELLENO DE HORMIGÓN  
SOBRE LA CONTRABÓVEDA Y  
CONSTRUCCIÓN DE LOS ANDENES.



# Pilas - pilote en estaciones

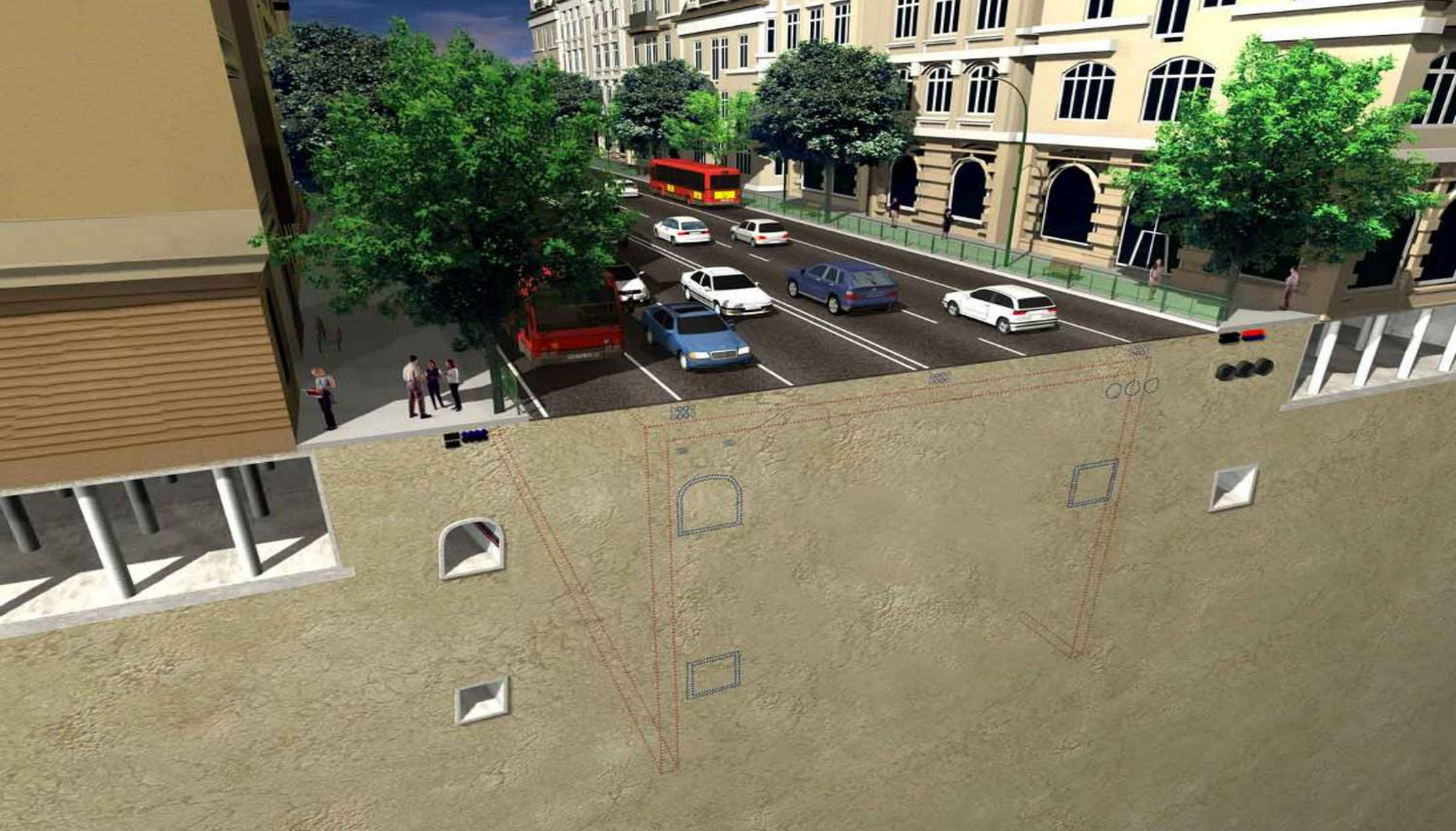






**ESTADO INICIAL**





## DESVÍOS DE SERVICIOS AFECTADOS





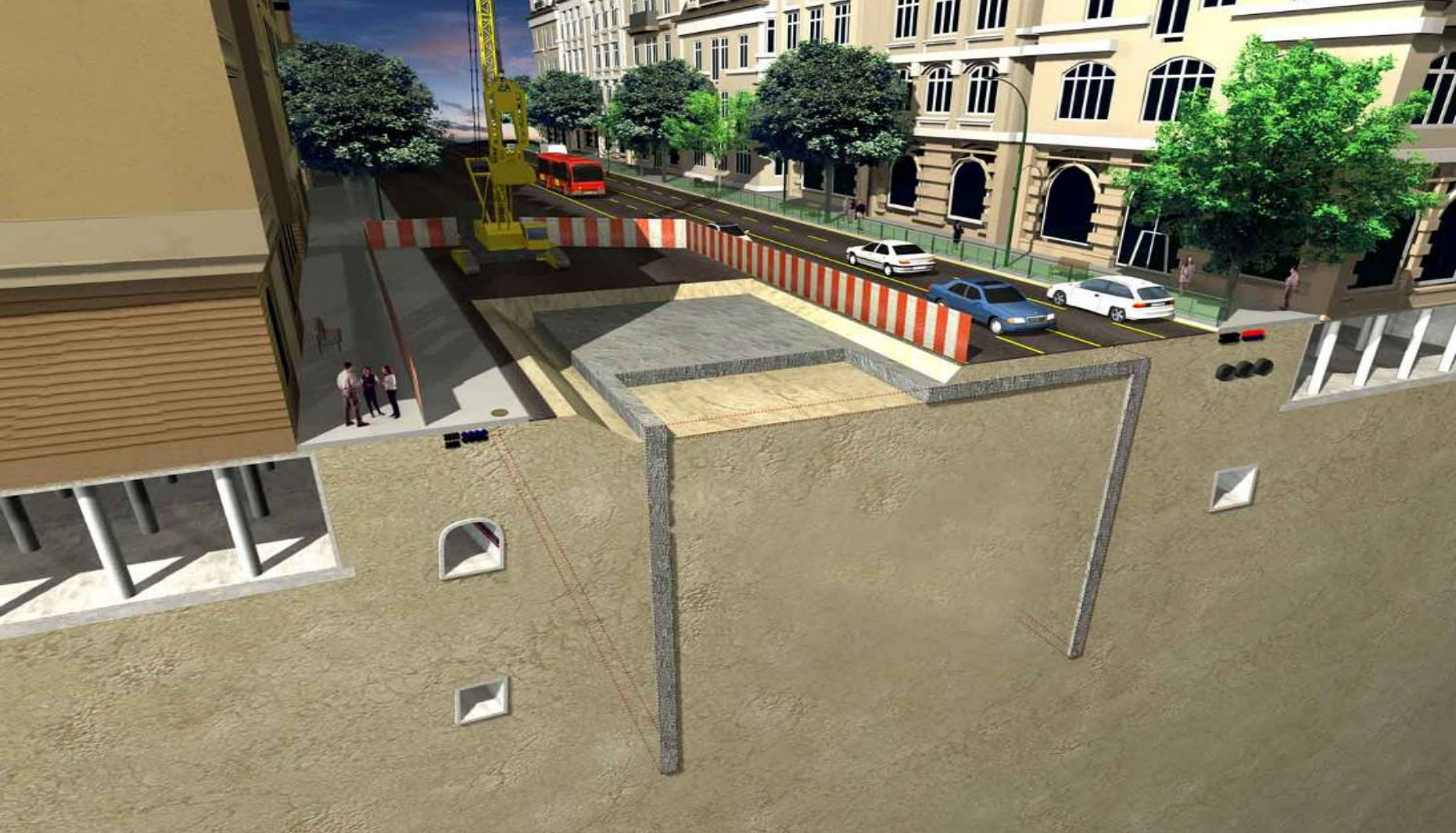
**EXCAVACIÓN PREVIA, EJECUCIÓN PANTALLAS Y PILA-PILOTE**



# Excavación previa y muretes guía







## EJECUCIÓN LOSA SUPERIOR









**EXCAVACIÓN BAJO CUBIERTA. CONSTRUCCIÓN LOSA VESTÍBULO**









**EXCAVACIÓN BAJO LOSA DE VESTÍBULO, EJECUCIÓN CONTRABÓVEDA Y ACABADOS  
ARQUITECTÓNICOS**



## Excavación hasta nivel contrabóveda



## Ejecución de la contrabóveda o losa plana





## MONTAJE DE VÍA E INSTALACIONES











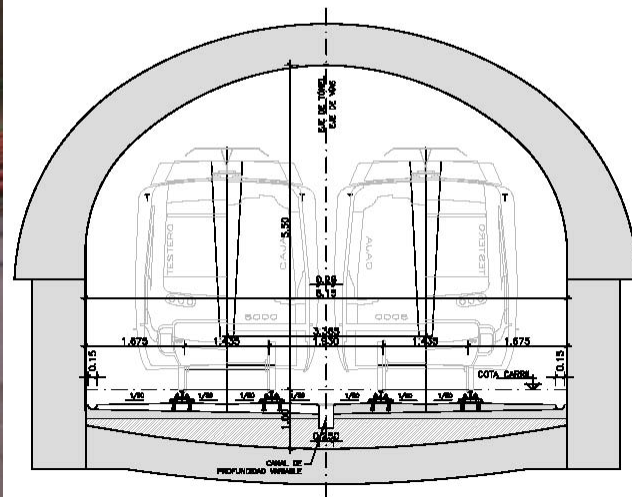


## 6.- Aplicación del M Tradicional de Madrid



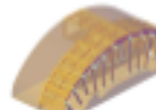
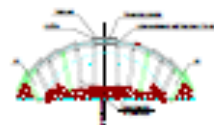
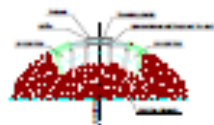
- Mínima inversión Inicial en instalaciones
- Posibilidad de avance en varios frentes
- Adaptabilidad a cualquier tipo de terreno
- Gran flexibilidad de actuación frente a imprevistos
- Buen control de asientos
- Precio competitivo
- Recuperación del material excavado en su estado natural
- Rendimientos: 40 – 50 m /mes







# VISTAS EN ALZADO Y PERSPECTIVA



**FIGURA 1.1**  
ELEVACIÓN Y PERSPECTIVA DEL DOME CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO.

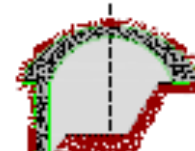
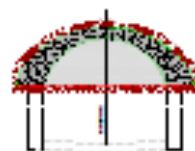
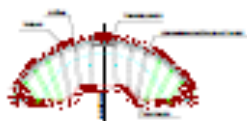
**FIGURA 1.2**  
ELEVACIÓN Y PERSPECTIVA DEL DOME CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO, CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO.

**FIGURA 1.3**  
ELEVACIÓN Y PERSPECTIVA DEL DOME CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO, CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO.

**FIGURA 1.4**  
ELEVACIÓN Y PERSPECTIVA DEL DOME CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO, CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO.

**FIGURA 1.5**  
ELEVACIÓN Y PERSPECTIVA DEL DOME CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO, CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO.

**FIGURA 1.6**  
ELEVACIÓN Y PERSPECTIVA DEL DOME CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO, CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO.



**FIGURA 1.7**  
ELEVACIÓN Y PERSPECTIVA DEL DOME CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO, CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO.

**FIGURA 1.8**  
ELEVACIÓN Y PERSPECTIVA DEL DOME CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO, CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO.

**FIGURA 1.9**  
ELEVACIÓN Y PERSPECTIVA DEL DOME CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO, CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO.

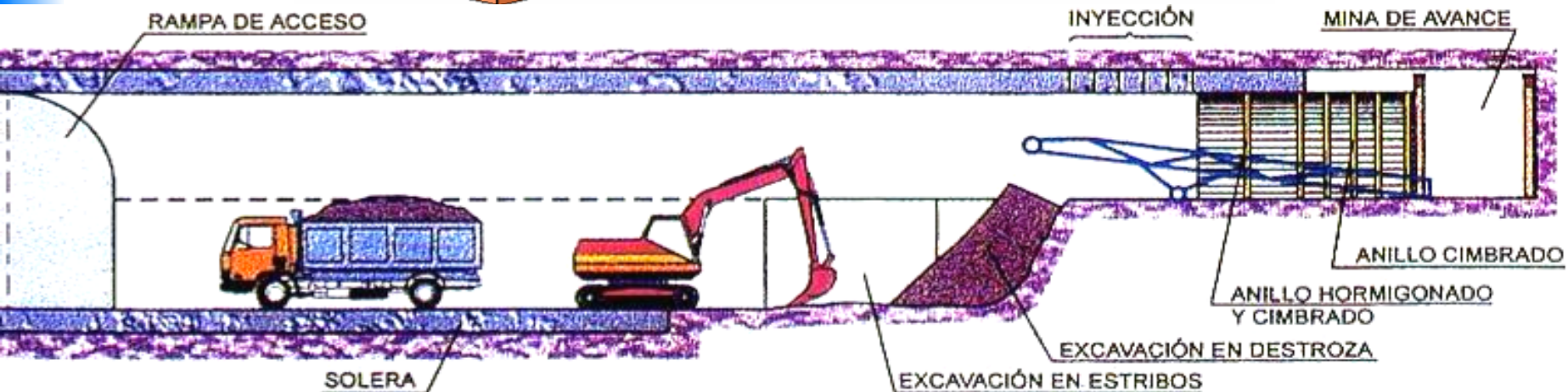
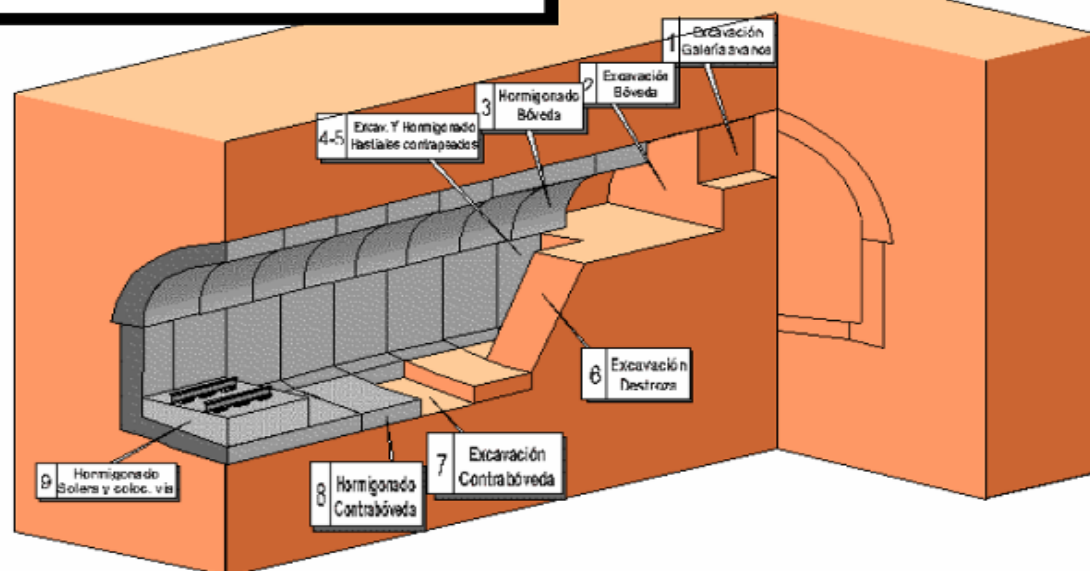
**FIGURA 1.10**  
ELEVACIÓN Y PERSPECTIVA DEL DOME CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO, CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO.

**FIGURA 1.11**  
ELEVACIÓN Y PERSPECTIVA DEL DOME CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO, CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO.

**FIGURA 1.12**  
ELEVACIÓN Y PERSPECTIVA DEL DOME CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO, CON UNA ABERTURA RECTANGULAR EN EL CENTRO DEL TOPO.



# ETAPAS CONSTRUCTIVAS DEL METODO BELGA O TRADICIONAL DE MADRID





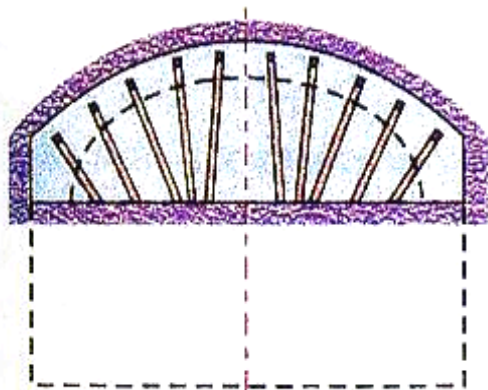




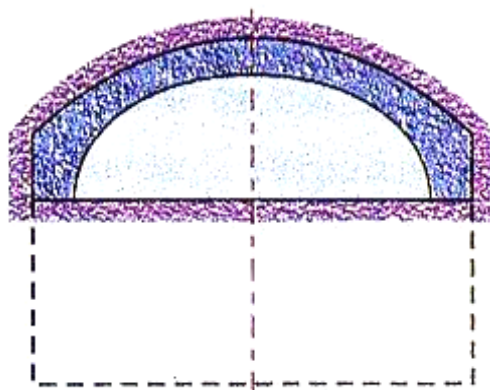




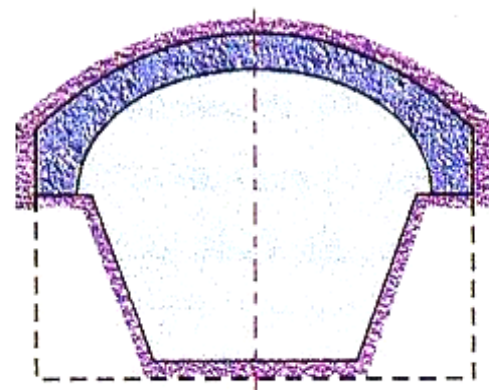
# Diferencia con el método aplicado en la ejecución de colectores en la ciudad de Quito



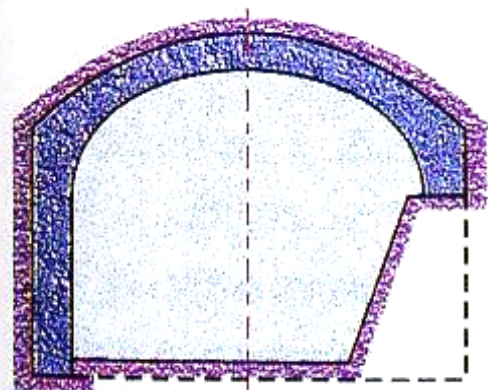
1.- EXCAVACIÓN EN BÓVEDA



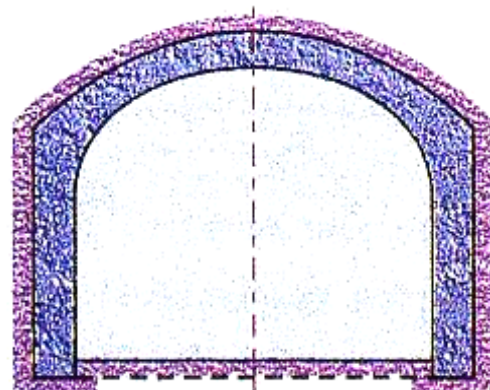
2.- HORMIGONADO BÓVEDA



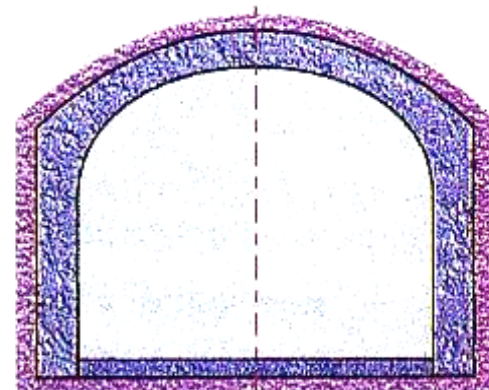
3.- EXCAVACIÓN EN DESTROZA



4.- EXCAV. Y HORMIGONADO ESTRIBO DECHO.



5.- EXCAV. Y HORMIGONADO ESTRIBO IZDO.



6.- EXCAVACIÓN Y HORMIGONADO SOLERA













Tunel Anglo French



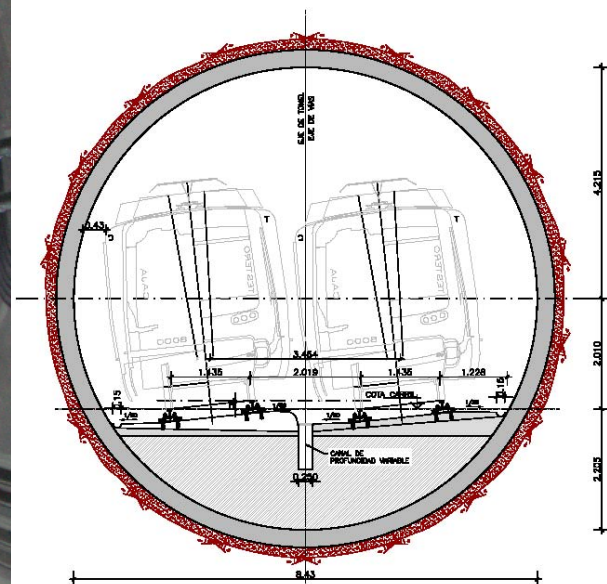


## 7.- TBM en modo EPB (frente cerrado)



- Rendimientos 10 a 15 veces superiores a la excavación manual (400 – 500 m/mes)
- Confina la tierra en la cámara de presión lo que permite reducir asentos en superficie
- Es la máquina idónea para trabajar en suelos blandos e inestables
- Permite asegurar el cruce de zonas difíciles (quebradas) desde un punto de vista geotécnico: minora asentos inducidos y afecciones a estructuras próximas







# Pozo de tuneladora: Solanda



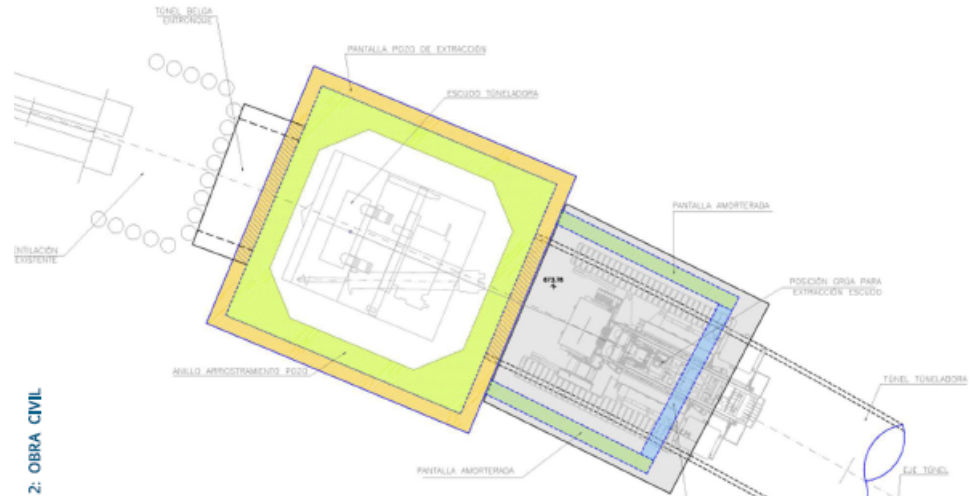


# Pozo de tuneladora: Solanda



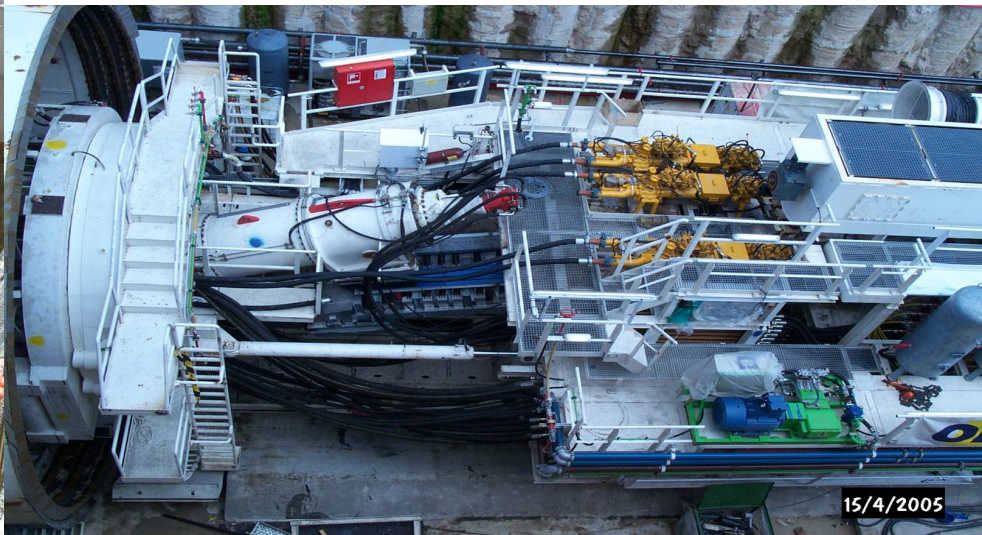


# Pozo de extracción (o introducción) tuneladora



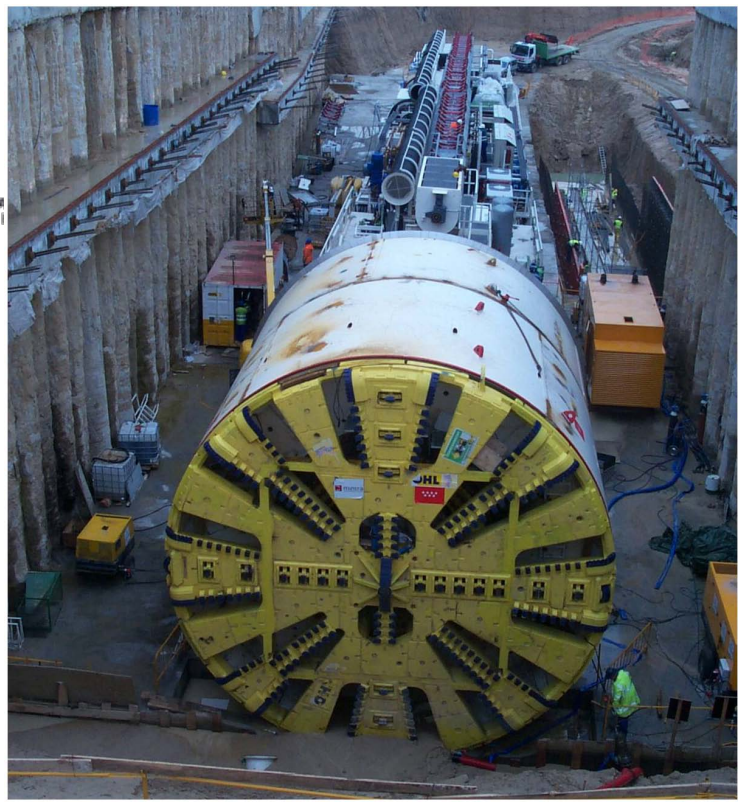
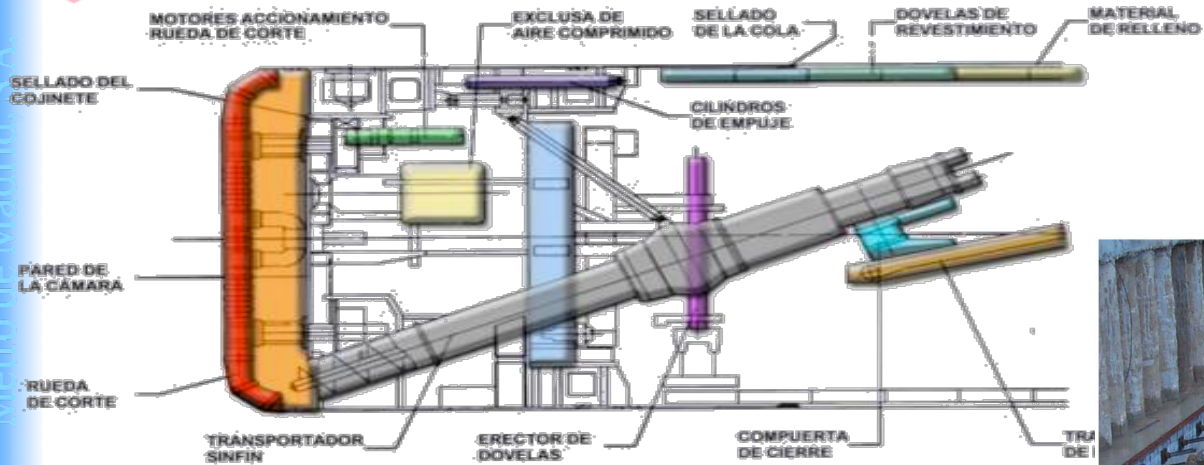


# MONTAJE DE TUNELADORA





# TUNELADORA MONTADA





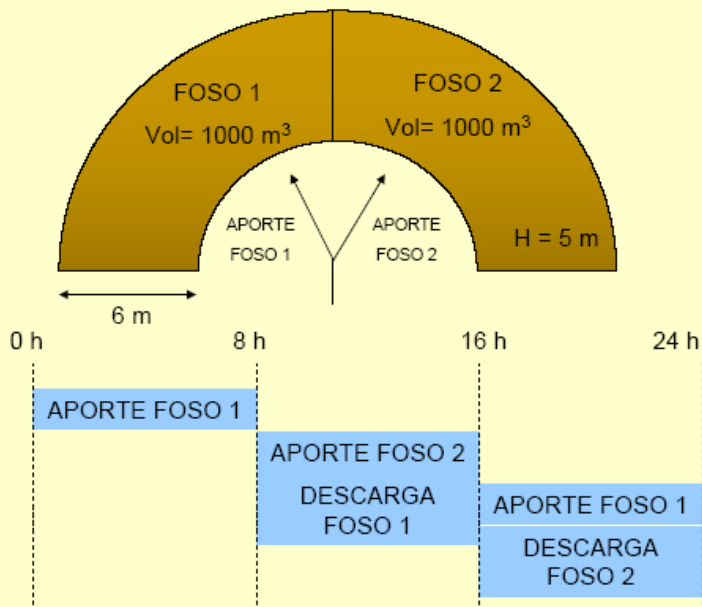
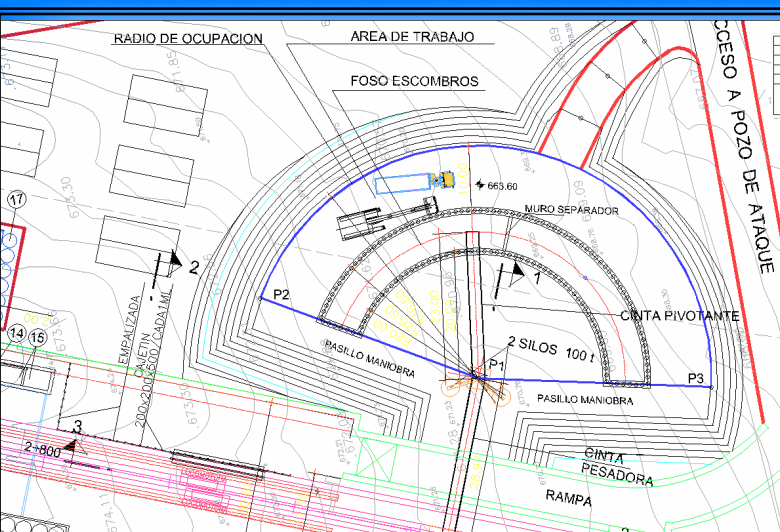




# Tratamiento materiales tuneladora





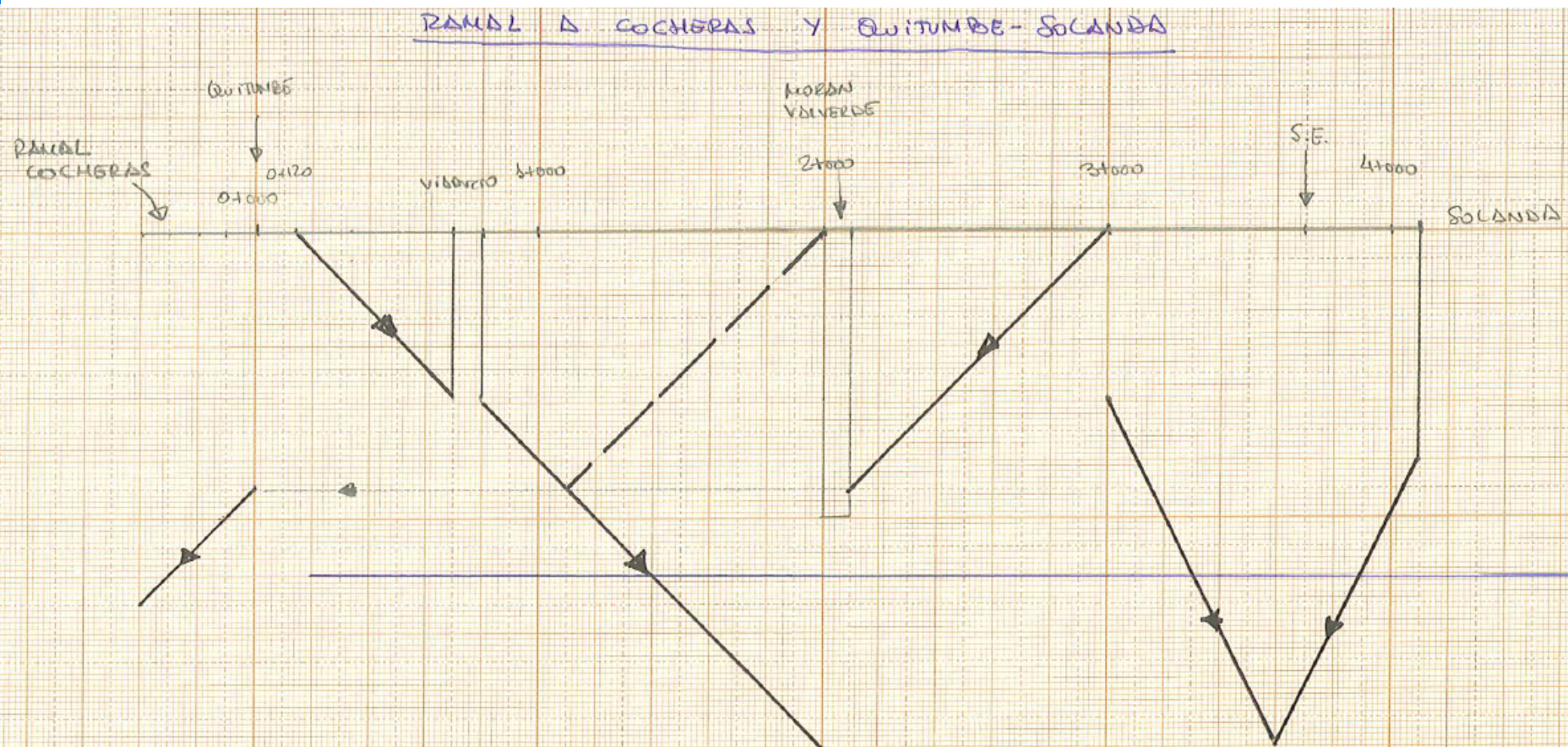




- Ejecución de obra civil: 24 meses
- Rendimientos supuestos:
  - Métodos convencionales: 50 m/mes
  - Túnel entre pantallas: 100 m/mes
  - Tunneladora: 400 m/mes
- Estaciones:
  - Pantallas y losa cubierta:
    - En una fase: 5 meses
    - En dos fases: 6 meses
  - Contrabóveda:
    - 2 niveles: 10 meses
    - 3 niveles: 12 meses

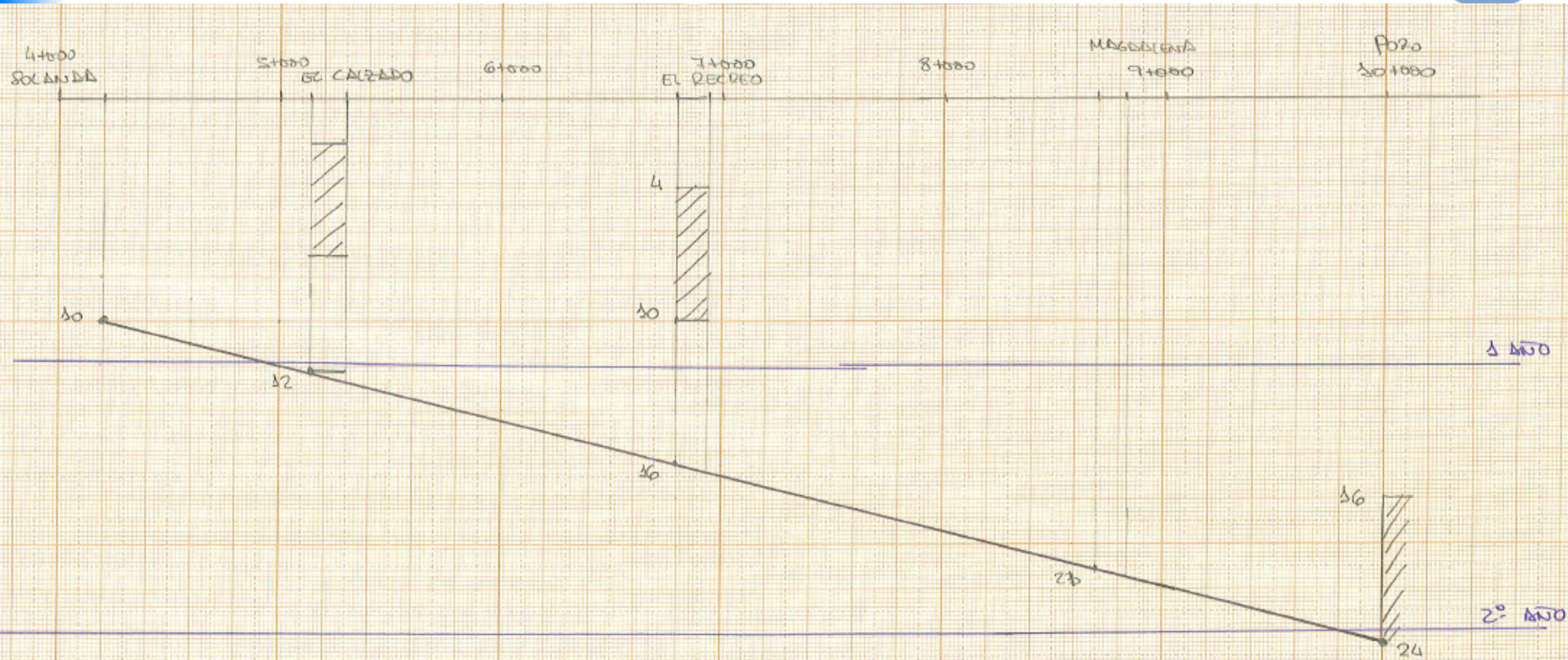


# Cocheras - Solanda (Pantallas y M Convencional)



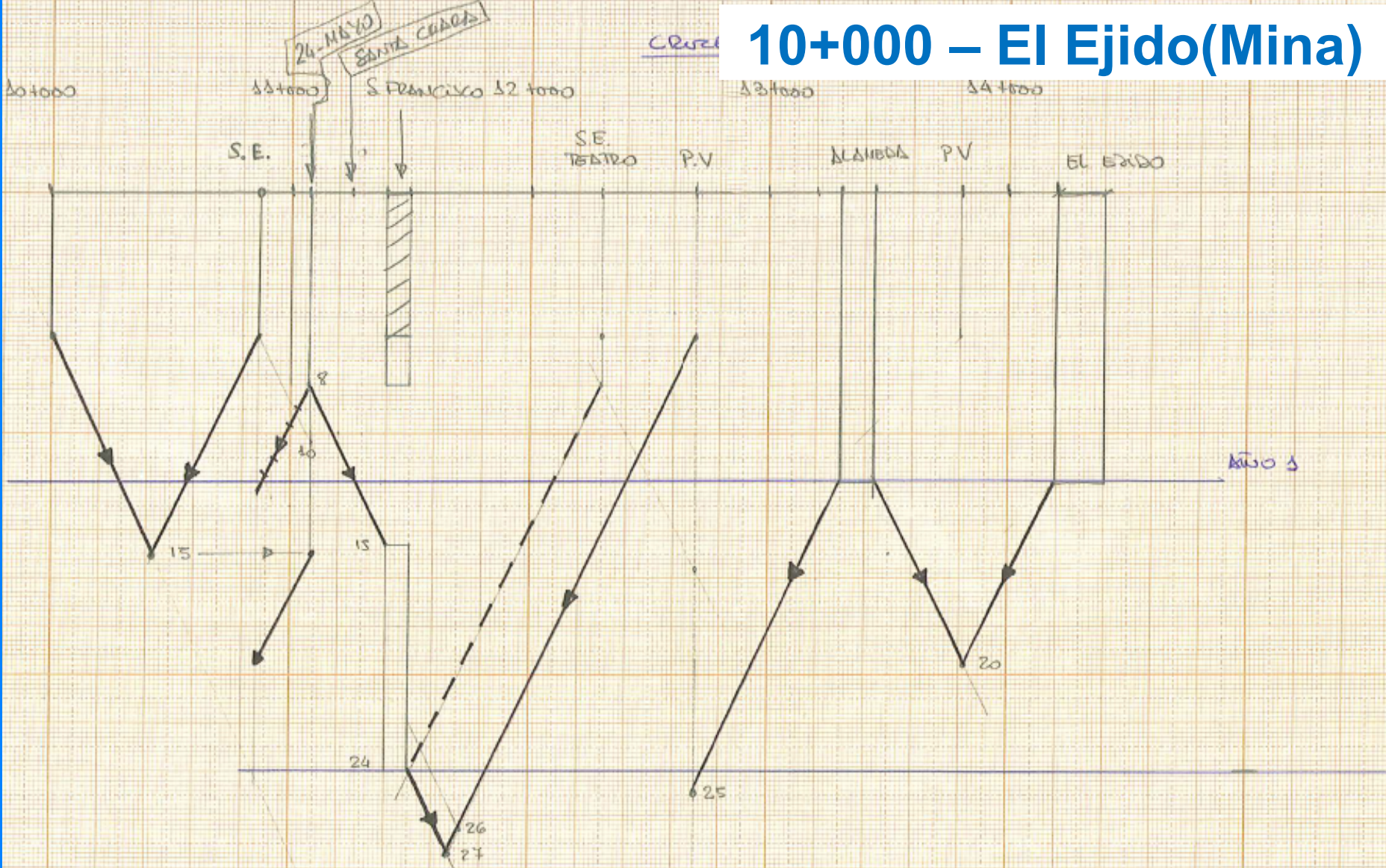


# Estación Solanda - 10+000 (EPB)





# 10+000 – El Ejido(Mina)





Ocupación TONELADORA DE EL LABRADOR

214000 201400 194000 184000 174000 164000 154000

LABRADOR

SUP-2APA

MEDIO

CEROLINA

POMBA

UNIVASCO

ESTO

Ocupación SUPERFICIAL

(8 meses) OBRAS EN SUPERFICIE

1º AÑO

2º AÑO

FECHAS MAS TARDIAS QUE PODRIAN INICIARSE LAS ESTACIONES



# Seguimiento de las obras

Establecimiento del nivel de control: factores

Método  
Constructivo

Análisis  
movimientos

Presencia edificios y valores  
admisibles

Espesor resistente

Presencia agua

Niveles con pocos  
finps

Clasificación del control:  
Tramificación del trazado

Consecuencias

Plan de Auscultación:  
Instrumentación y Frecuencia lecturas

Seguimiento

Transmisión y  
almacenamiento datos

Comparativa esperable  
(o umbral) con real

Revisión Plan de  
Auscultación

Tratamientos  
correctivos

Técnicas de tratamiento y  
mejora

Tratamientos  
Preventivos



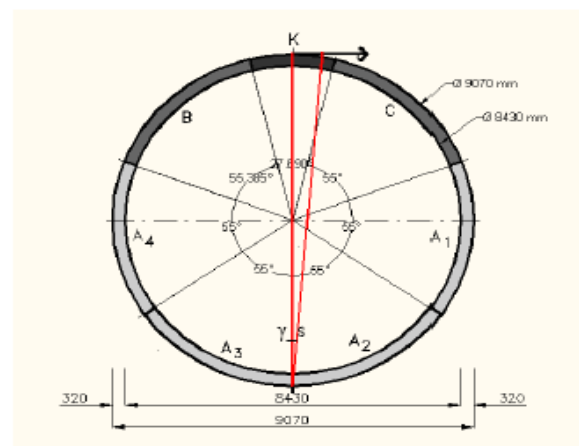


**GRACIAS POR SU ATENCION**



## • Hipótesis: terrenos blandos (S3)

- En el caso de disponer de una montera de  $H=10\text{m}$ ;
  - Con coeficientes de Balasto menores de  $K=1000 \text{ t/m}^3$  el comportamiento no es satisfactorio.
  - Con coeficientes de balasto entre  $1000$  y  $3000 \text{ t/m}^3$  se pueden obtener soluciones en función del tipo de sismo (velocidad de propagación de ondas) y la resistencia a compresión del hormigón.
  - Con coeficientes  $k > 3000 \text{ t/m}^3$ , la estructura se comporta correctamente ante cualquier sismo actuante, para los distintos terrenos definidos.
- En el caso de disponer de una montera de  $H=15\text{m}$ ;
  - Se mantiene el límite inferior de  $K=1000 \text{ t/m}^3$  en el coeficiente de balasto.
  - Con coeficientes de balasto entre  $1000$  y  $1800 \text{ t/m}^3$  se pueden obtener soluciones en función del tipo de sismo (velocidad de propagación de ondas) y la resistencia a compresión del hormigón.
  - Con  $k > 1800 \text{ t/m}^3$ , la estructura se comporta correctamente ante cualquier sismo actuante, para los distintos terrenos definidos



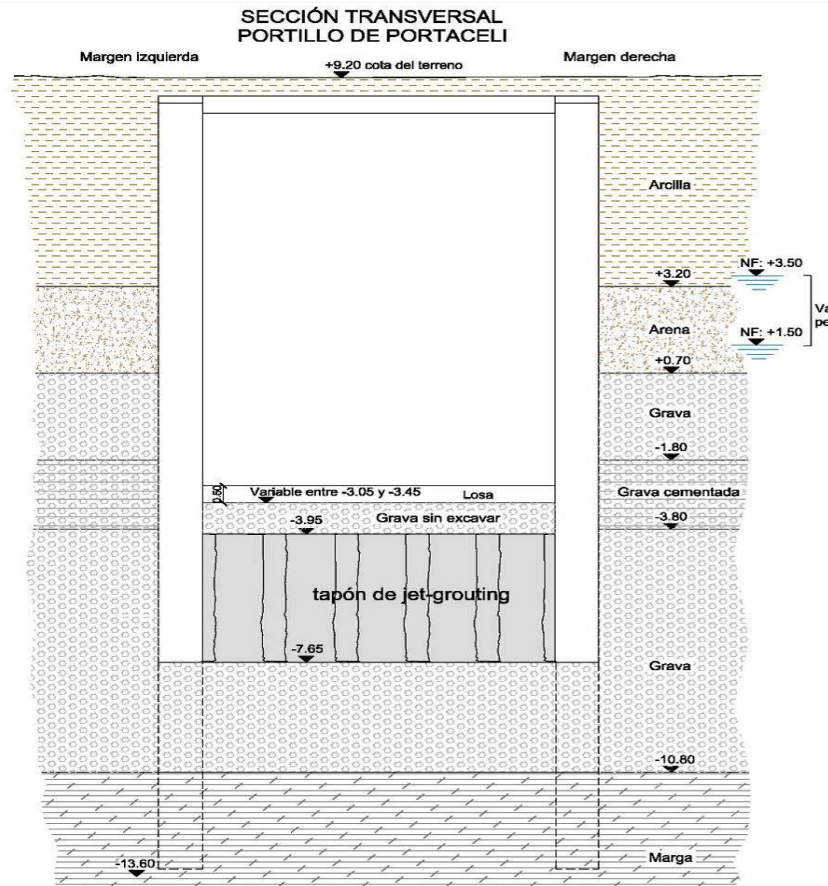
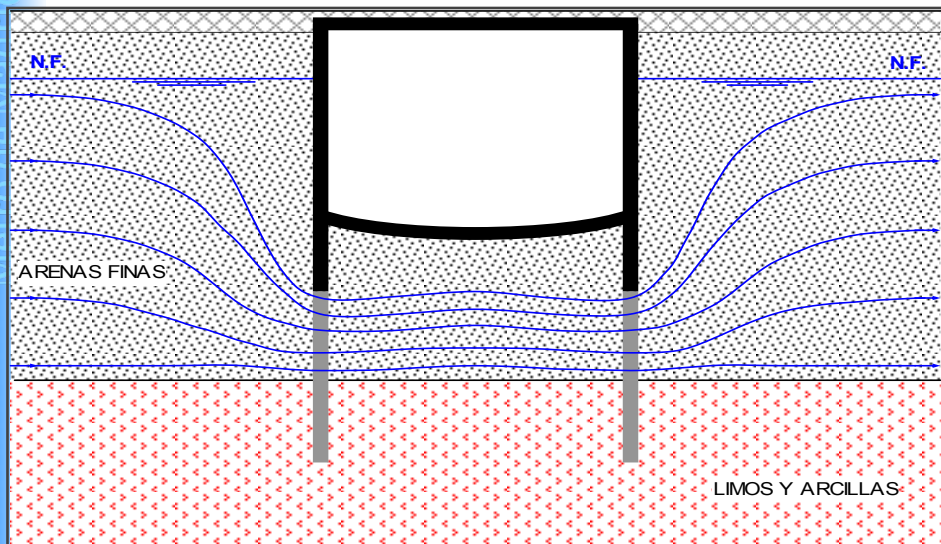
SISMO	$\delta$ (mm)
Sismo 1	10,9
Sismo 2	7,2
Sismo 3	5,4







# Efecto pantalla: portillos



Tapón de JG



# Conductos de transferencia

