



Jornadas técnicas de gestión de túneles

Construcción de túneles

Presentación elaborada por:

Diego Fernández de Castro Pérez (ICYFSA)

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Barcelona, 08 de junio de 2015

Índice

- 1 Sistemas constructivos habituales**
- 2 Métodos convencionales**
 - Excavación
 - Sostenimiento
 - Impermeabilización/revestimiento
- 3 Sistemas mecanizados (tuneladoras)**
 - Tipos de máquinas (excavación y desescombro)
 - Sostenimiento/revestimiento
- 4 Seguimiento de la excavación**
 - Interior
 - Exterior
- 5 Detalles constructivos**

1. Sistemas constructivos habituales

- ✓ Sistemas constructivos convencionales:
 - ❖ *Nuevo método austriaco (NATM, D&B...).*
 - ❖ *Sprayed concrete lining.*
 - ❖ *Método belga, tradicional de madrid, alemán, etc.*
 - ❖ *Bernold.*
 - ❖ *Premill.*
 - ❖ *Etc.*

- ✓ Sistemas constructivos mecanizados. Tuneladoras (tbn):
 - ❖ *Abiertas (topos ó gripper TBM).*
 - ❖ *Escudos de frente no presurizado:*
 - Escudo simple.
 - Doble escudo.
 - ❖ *Escudos de frente presurizado:*
 - Escudos de presión de tierras, EPB (“earth pressure balance”).
 - Hidroescudos (“slurry shields”).



2. Métodos convencionales

Excavación

✓ Tipos de excavación en sistemas constructivos convencionales:

- ❖ *Excavación mecánica.*
- ❖ *Excavación con explosivos.*
- ❖ *Excavación con rozadoras.*



2. Métodos convencionales

Excavación

✓ Ejemplos:



2. Métodos convencionales Sostenimiento

✓ Elementos de sostenimiento en sistemas constructivos convencionales:

❖ *Nuevo método austriaco (NATM, D&B...):*

- Hormigón proyectado (bombeado ocasionalmente)
- Bulones ó pernos (inyectados con cemento/resina, expansión).
- Cerchas metálicas (perfiles HEB, THN, IR, Reticulados, etc)
- Mallazo metálico ó fibras (méticas o sintéticas).

❖ *Sprayed concrete lining:*

- Hormigón proyectado
- Cerchas metálicas
- Mallazo ó fibras.

❖ *Método belga, tradicional de Madrid, alemán, etc:*

- Hormigón bombeado
- Madera
- Longarinas (perfiles metálicos).

❖ *Bernold:*

- Hormigón bombeado (proyectado como recubrimiento).
- Chapa metálica.
- Cercha metálica (recuperable o no).

❖ *Premill.*

- Hormigón bombeado.
- Chapa metálica.
- Cercha metálica.



2. Métodos convencionales

Sostenimiento

✓ Ejemplos:



2. Métodos convencionales

Impermeabilización/Revestimiento

✓ Impermeabilización:

- ❖ *Más habitual: Geotextil+lámina impermeabilización*
- ❖ *Realmente se trata de un sistema de drenaje (recogida en trasdós y conducción al exterior).*
- ❖ *Métodos belga, tradicional de Madrid, etc, no permiten este sistema (drenaje en intradós).*

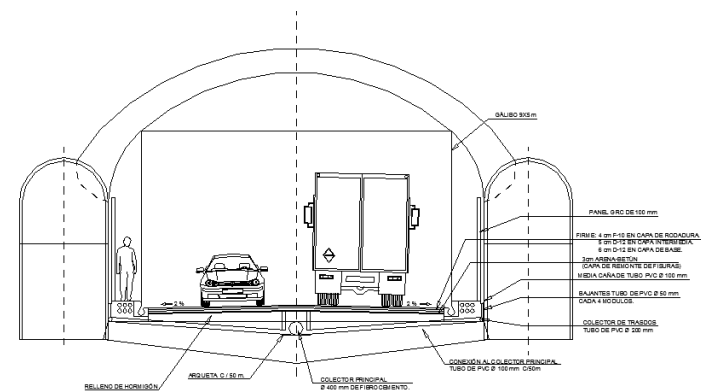
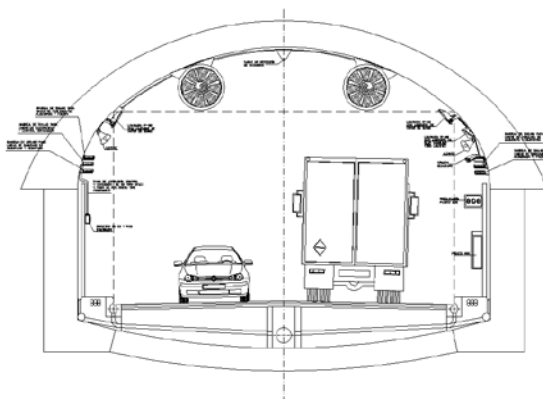
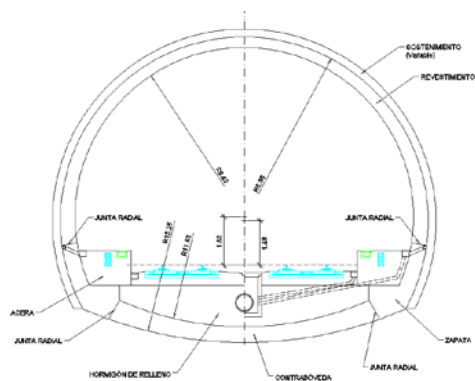


2. Métodos convencionales

Impermeabilización/Revestimiento

✓ Métodos convencionales y “topos” abiertos:

- ❖ *Hormigón encofrado (masa o armado)*
- ❖ *2-3 fases de ejecución (zapatas, solera-contrabóveda, bóveda).*
- ❖ *Algunos métodos convencionales ejecutan el revestimiento como parte del sostenimiento (método belga, Madrid, etc).*



2. Métodos convencionales

Impermeabilización/Revestimiento

✓ Ejemplos:

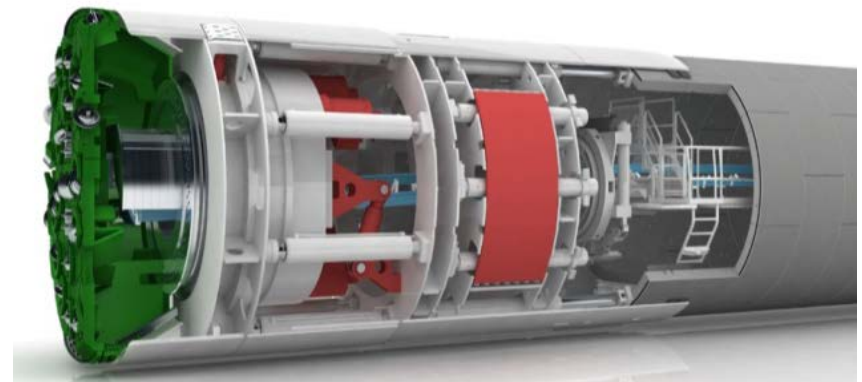
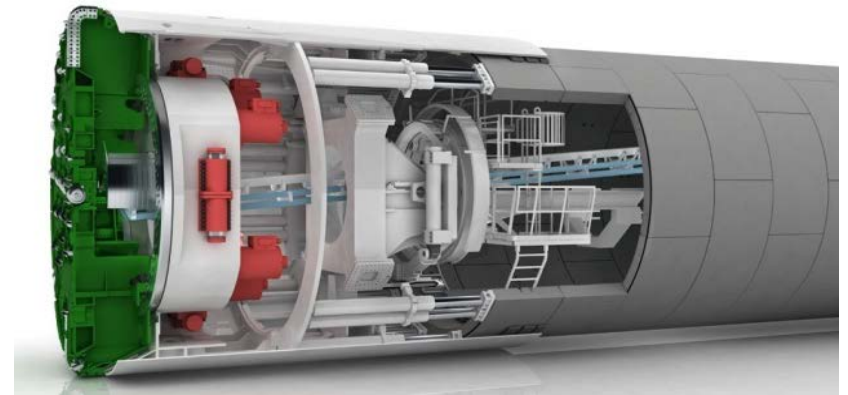
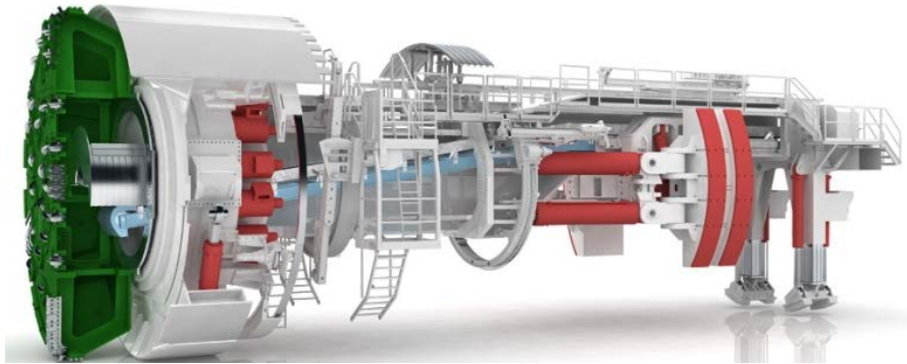


3. Sistemas mecanizados (tuneladoras)

Tipos de máquinas (excavación y desescombro)

✓ Tipo básicos de sistemas constructivos mecanizados. Tuneladoras (TBM):

- ❖ *Abiertas (topos ó gripper TBM).*
- ❖ *Escudos de frente no presurizado:*
 - Escudo simple.
 - Doble escudo.



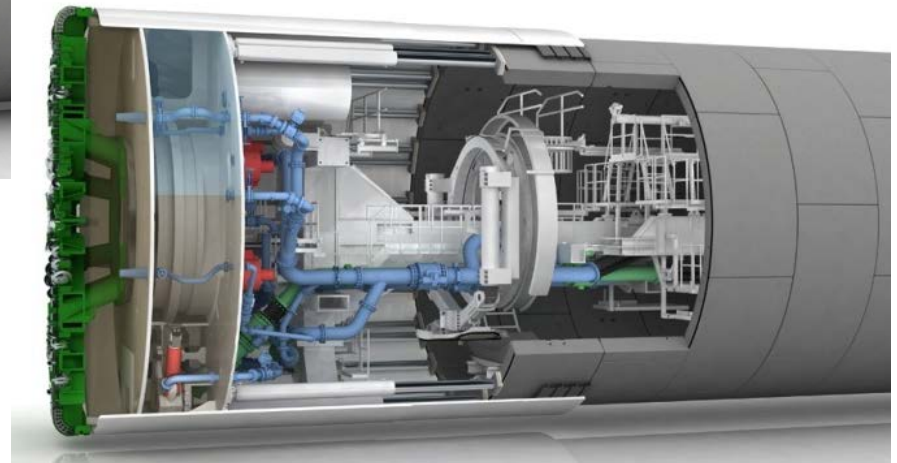
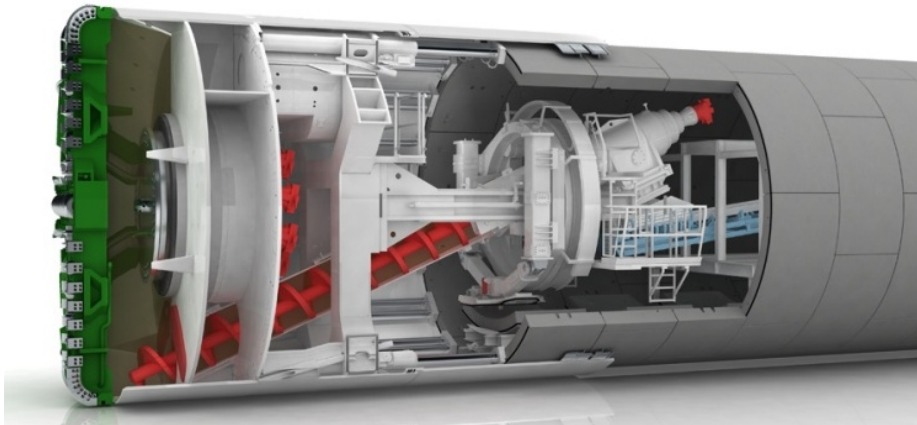
3. Sistemas mecanizados (tuneladoras)

Tipos de máquinas (excavación y desescombro)

✓ Sistemas constructivos mecanizados. Tuneladoras (tbn):

❖ *Escudos de frente presurizado:*

- Escudos de presión de tierras, EPB (“earth pressure balance”).
- Hidroescudos (“slurry shields”).



3. Sistemas mecanizados (tuneladoras) Sostenimiento/revestimiento

- ✓ Elementos de sostenimiento en sistemas constructivos mecanizados. Tuneladoras (tbm):
 - ❖ *Abiertas (topos ó gripper TBM). Hormigón proyectado, bulones, cerchas metálicas, mallazo.*
 - ❖ *Escudos de no presurizado. Dovelas prefabricadas de hormigón armado (revestimiento definitivo).*
 - ❖ *Escudos de frente presurizado. Dovelas prefabricadas de hormigón armado (revestimiento definitivo).*



3. Sistemas mecanizados (tuneladoras) Sostenimiento/revestimiento

- ✓ Anillos prefabricados:
 - ❖ *Requieren de planificación meses antes.*
 - ❖ *Requieren de mucho espacio para fabricar y acopiar.*
 - ❖ *Tipos básicos de planta (carrusel ó moldes fijos).*



4. Seguimiento de la excavación Interior

✓ Levantamientos de frente:

❖ *Objetivo: Contratar las previsiones de diseño con la realidad. Permite optimizar la previsión inicial si el personal a pie de obra cuenta con criterios suficientes en proyecto.*

FICHA DE LEVANTAMIENTO DE FRENTE DE TUNEL

PK	MONTERA	ORIENT.	OPERADOR	TUNEL	BOCA	CÓDIGO	FECHA
202+106.95	26,0	320	A. J. CALLE	VALLADOLID	TTV-0037		04-jul-02

LITOLOGÍA PREDOMINANTE EN EL TUNEL(A)

Esquílo gris con venas de apita. GM III.

ALTER.	AGUA (A)	ESTABILIDAD
3,0	HUMEDO	ESTABLE

PARÁMETROS DEL RMR	% SUP.	JUNTA 1	JUNTA 2	JUNTA 3	
CODIGO	EGV-073	TIPO	Esqueletosidad (S1)	Diaclasa (J1)	Falla F1
RCS	1	DIR/BUZ	80	300	80
RQD	8	BUZAM	15	85	30
Estado Diaclasas	5	LONGIT	1-3 m	3-6 m	>6 m
Estado Diaclasas	20	RMR	RELENO	<0,5mm Arc	1mm Arc
Presencia Agua	7	CORR. ORIENTACIÓN		-5	

SEGUNDA LITOLOGÍA EN EL TUNEL(B)

Cuarzita

ALTER.	AGUA (B)	ESTABILIDAD
2,5	LIGERAMENTE HUMEDO	ESTABLE

PARÁMETROS DEL RMR	% SUP.	JUNTA 1	JUNTA 2	JUNTA 3
CODIGO	EGV-074	TIPO	Esqueletosidad S1	Diaclasa J1
RCS	2	DIR/BUZ	80	300
RQD	10	BUZAM	30	85
Estado Diaclasas	10	LONGIT	>6 m	1-3 m
Estado Diaclasas	20	RMR	RELENO	>0,2 mm Ox
Presencia Agua	10			52

ESQUEMA FRENTE

PK 202+106.95 TTYA-0037
04/07/02 19:00

H. Deb. H. Izq. H. Izq. H. Deb.

•Excavación 4 horas.
•Gruas 1/4 kg y frente.
•Falla en Hb. Deb.
•Pase bien perfilado.
•No se bulones con placa ni anillos (Hb. Izq.)
•Diger

•(1) Esquílo gris con venas de apita. GM III (20%)
•(2) Cuarzita. GM III (20%).

Corrección RMR por Orientación = - 5

ESQUEMA PLANTA (Cota de Avance)

PK 202+106.95

Avance Excavación

DATOS DE LA EXCAVACIÓN			
TIPO	Mecánico (martillo)	LONG	1,32
RECORTE	0,20 m (max)	ESTAB. PASE	Estable
ESTAB. FRENTE	Estable		

SOSTENIMIENTO AVANCE		AUSCULTACIÓN	
RECOMENDADO	EJECUTADO	CONVERG	[] P.K.
SELLADO	5	EXTENSOMET.	[] P.K.
CERCHA	TH-29 (50%)	CÉLULAS	[] P.K.
CHAP BERN	1		
HORMIGÓN	15 cm HM-30 (Fibra 50 Kg/m3)	SOSTENIMIENTO DESTROZA	
BUL-TIPO	RESINA	FECHA	12-nov-02/HORMIGÓN 20 cm
BUL-DIAM.	25,00	BUL-TIPO	SWELLEX EXL
BUL-LONG.	4 m (3 uds pasantes + 20 uds en pase)	BUL-DIAM.	25,30
		BUL-LONG.	4 m (3 Uds x pie hasta)
PARA. []	[] PQUETES [] MACHÓN	PARA. []	[] PQUETES [] MACHÓN
SECCIÓN TIPO	50x51,5 + 50x51,4	ZAPATA []	CONTRAB. [] SOLERA []
DESCRIP.MEDIOS ESPECIALES		OBSERVACIONES	
		Excavación por voladura. Bulonado (12/11/02) 100% Hormigón estructural teórico y 50% Bulonado teórico (1 bulón por patón pasante).	

CODIGO	TCO-012
PK FRENTE	605+585
MONTERA	30m
FECHA	10/11/11

CONTROL GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL FRENTE DE EXCAVACION

TUNEL: PK FRENTE: 605+585

LITOLOGÍA DEL FRENTE:

A - (10%) Grano de dos micras GM II. Juntas con pátina arcillosa (sólidos alterados a caolín, principalmente).
 B - (30%) Grano de dos micras GM III. Juntas con pátina arcillosa (sólidos y caolín).
 C - (60%) Grano biotítico gris GM II-III. Juntas ligeramente alteradas.

FRENTE DE AVANCE		CROQUIS PLANTA / FOTO FRENTE	
EXCAVACIÓN:	VOLADURA	DATOS DE LA EXCAVACIÓN	RECORTE: BUENO
ESTAB DE PASE:	ESTABLE	L.PASE:	JA
		ESTABILIDAD FRENTE:	ESTABLE
		DATOS DEL SOSTENIMIENTO	FIBRA ACERO: 35 kg/m3
SOSTENIMIENTO APLICADO:	ST-II	CERCHA:	TH-29
		SELLADO:	S1
		CHAPA BERNOLD:	NO
		BULONES:	NO
		HORMIGÓN HP-30 (cm):	20
TRATAMIENTOS ESPECIALES:			
AUSCULTACIÓN:			

D	R.C.S. MPa	CLASIFICACIÓN RMR AJUSTADO (BIENIAWSKI, 1989)				A	B	C
		R1	R2	R3	R4			
		15	12	7	4	2	1	0
E	RQD %	75-90	50-75	25-50	<25	3	1	0
F	SEPARACIÓN ENTRE JUNTAS	>2m	0,6-2m	0,2-0,6m	0,06-0,2m	<0,06m	5	1
G	PERMEABILIDAD	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	2	2
	ABERTURA	Nada	<0,1mm	0,1-1mm	1-5mm	>5mm	1	1
	REGULARIDAD	Muy rugosa	Rugosa	Ligera rugosa	Ondulada	Suave	5	1
	RELENO	Ninguno	Reteno duro >5mm	Reteno duro <5mm	Reteno blanco >5mm	Reteno blanco <5mm	0	0
	ALTERACIÓN	Inalterada	Ligera alterada	Mod alterada	Muy alterada	Descomp.	1	3

CONDICIÓN DE LAS JUNTAS		RMR BÁSICO (a D-E-F-G-H)	
SECCAS	LIGERA HUM	BUENAS	DEFICIENTES
15	10	10	4
		RMR BÁSICO	
		25 30 10	

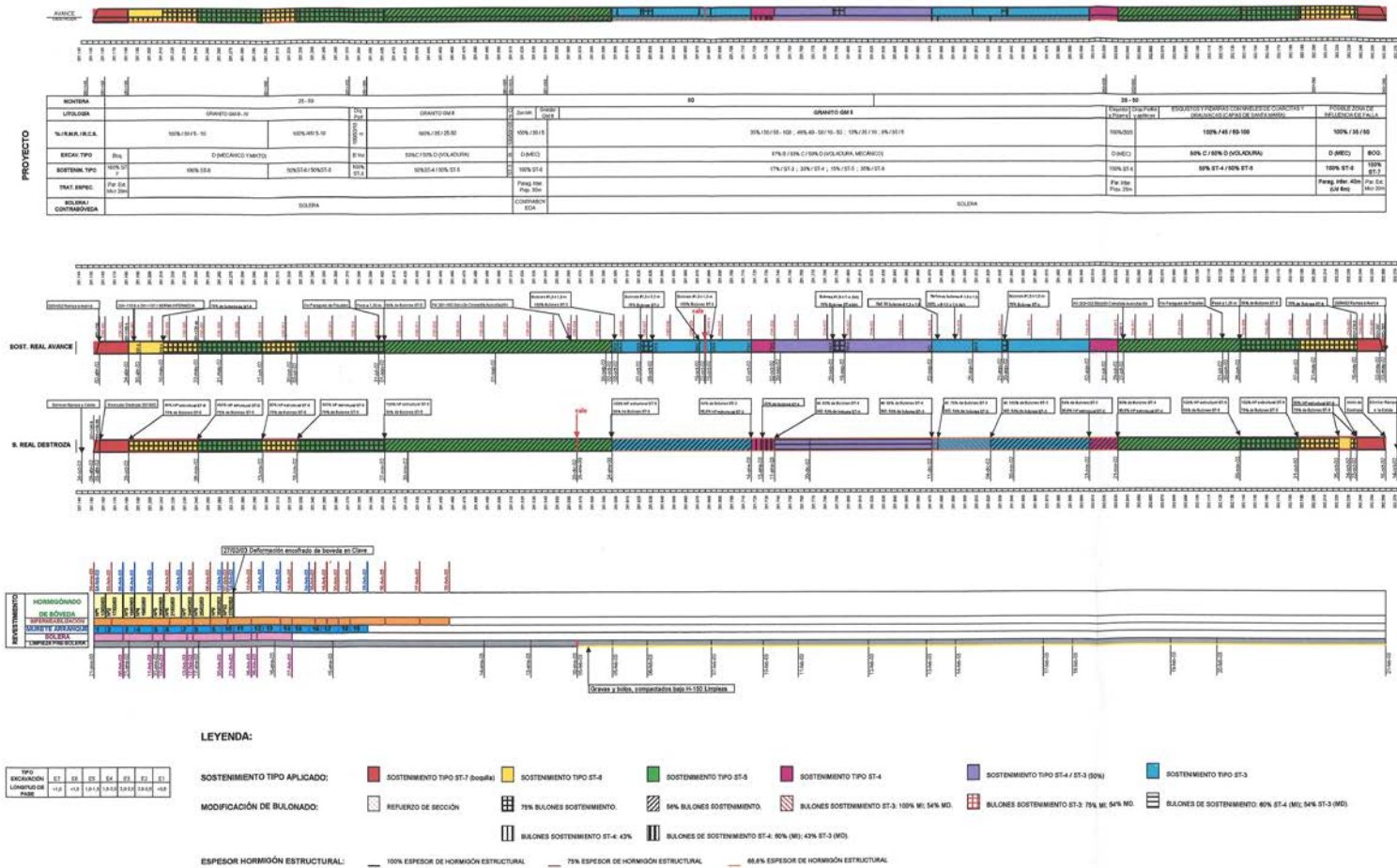
ORIENTACIÓN JUNTAS		RMR AJUSTADO	
PERPENDICULAR AL EJE DEL TUNEL	PARALELA AL EJE DEL TUNEL	CUICUQUER	DIRECCIÓN
EXC4 a favor boca	EXC4 contra boca	107-45°	45°-20°
107-45°	45°-20°	45°-20°	20°-2°
Muy favor	Favorable	Mucho a favor	Desfavorable 20°
0	-2	-5	-5
		RMR AJUSTADO	
		18 36 47	

REALIZADO POR:	Antonio Morales	OBSERVACIONES E INCUMPLENCIAS:	RMR proyecto modificado
Fecha y Firma:	605-585		



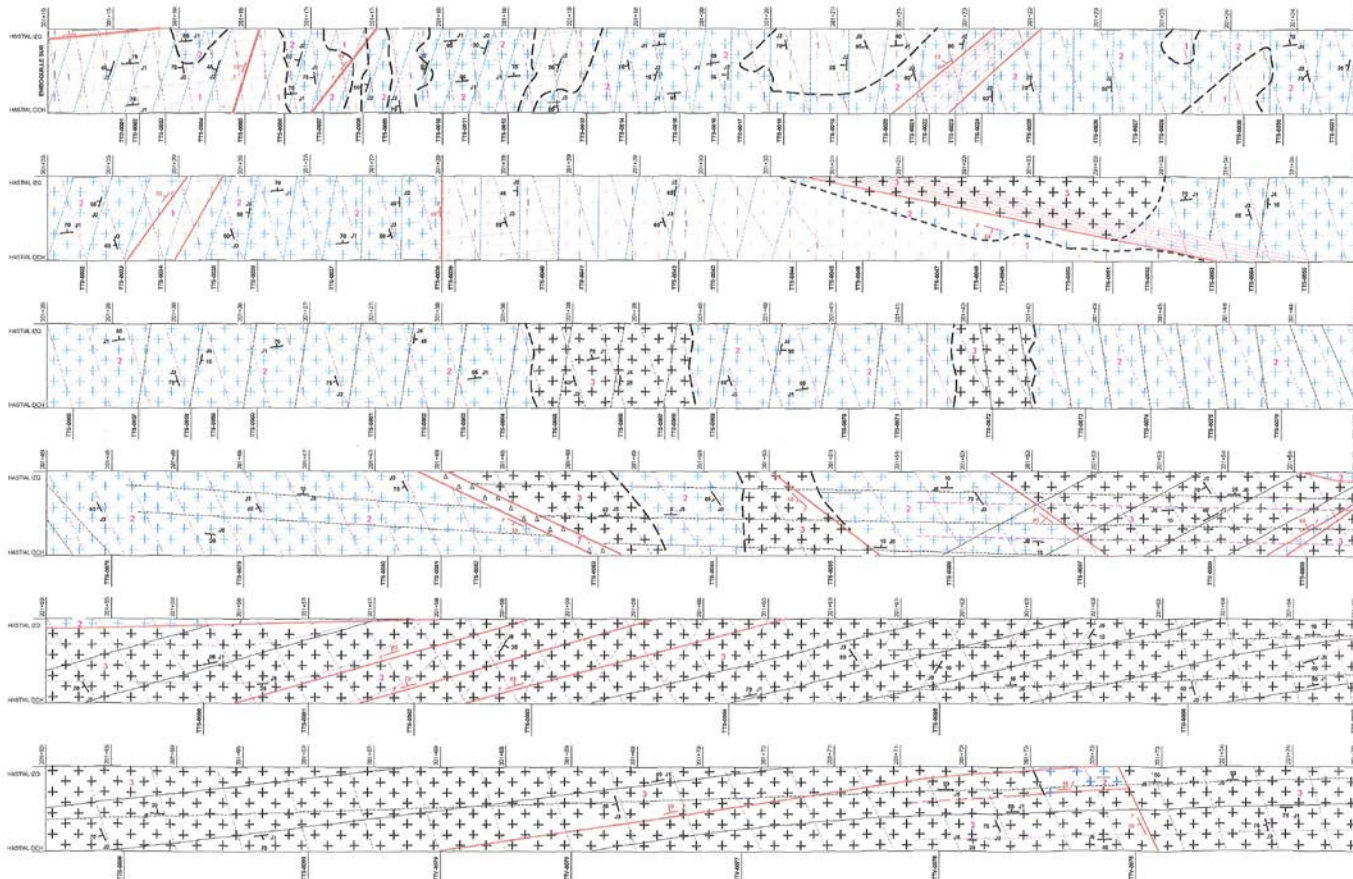
4. Seguimiento de la excavación Interior

- ✓ Tramificación túnel construido. Datos básicos de partida para el explotador ¿Qué se ha hecho realmente? ¿Dónde se ha hecho?



4. Seguimiento de la excavación Interior

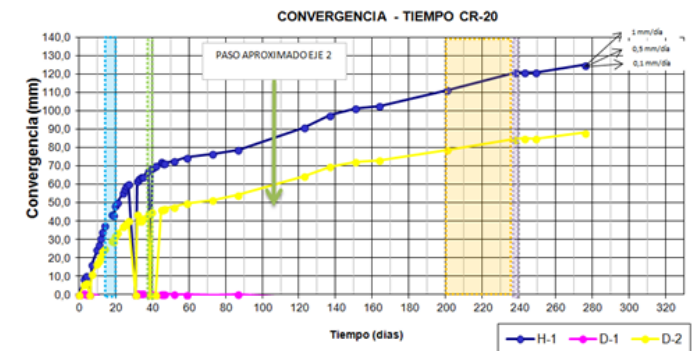
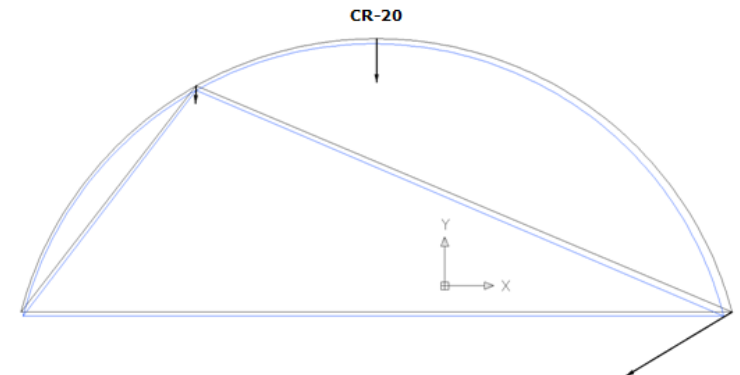
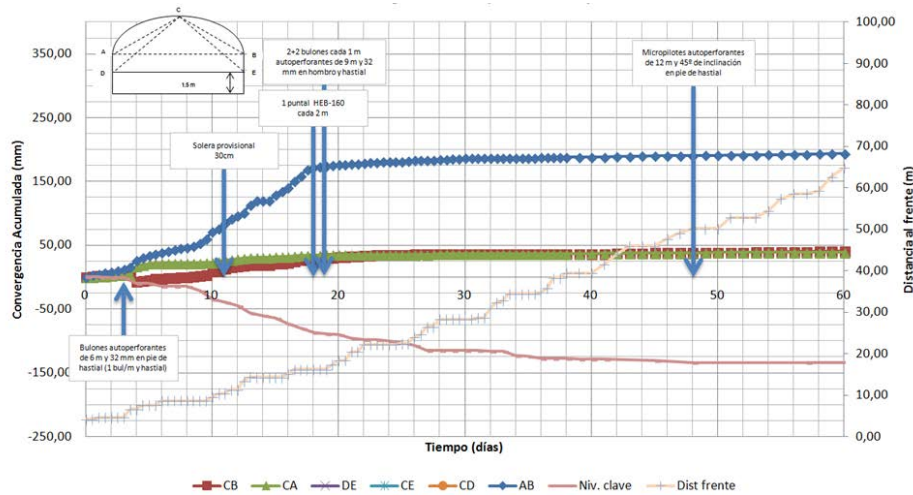
- ✓ Tramificación geológica a túnel construido en función de los levantamientos. Si no se cuenta con esta información el explotador trabaja “a ciegas”. Necesidad de campañas de investigación complejas para obtener datos sencillos de trasdós.



4. Seguimiento de la excavación Interior

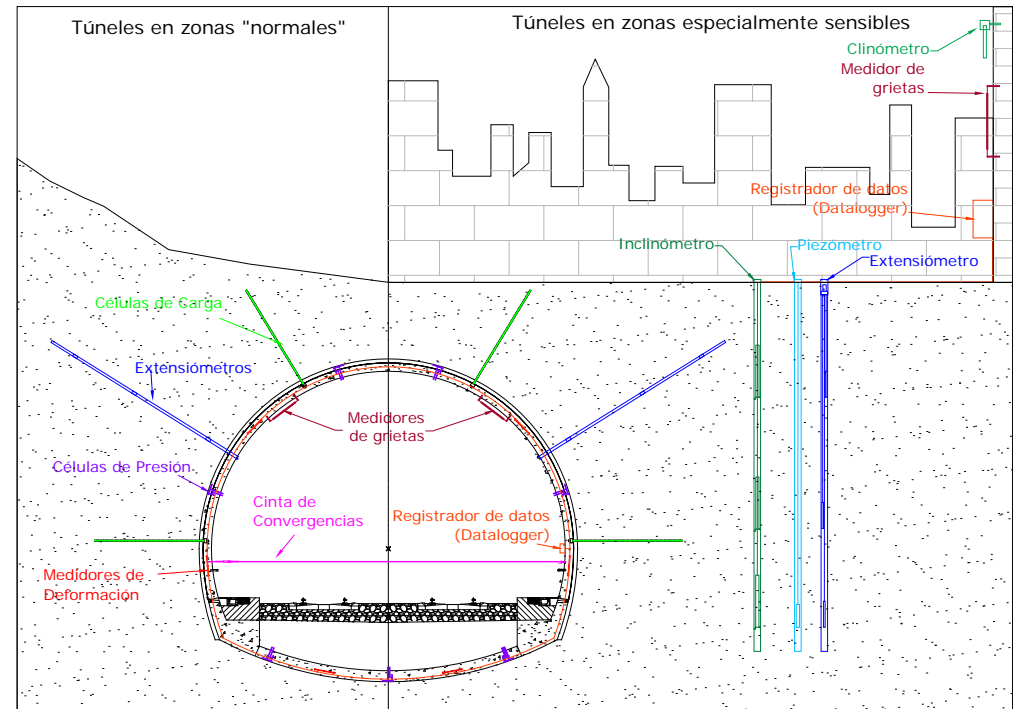
✓ Auscultación habitual:

- ❖ Secciones de convergencia: triángulos (coordenadas relativas)+Descenso en clave (coordenadas absolutas). Su relativa sencillez hace que puedan establecerse de manera sistemática a lo largo de la excavación. Incluir distancia al frente e historial de actuaciones (causa-efecto).
- ❖ Objetivo: Controlar desplazamientos que indiquen si el comportamiento es el esperado.



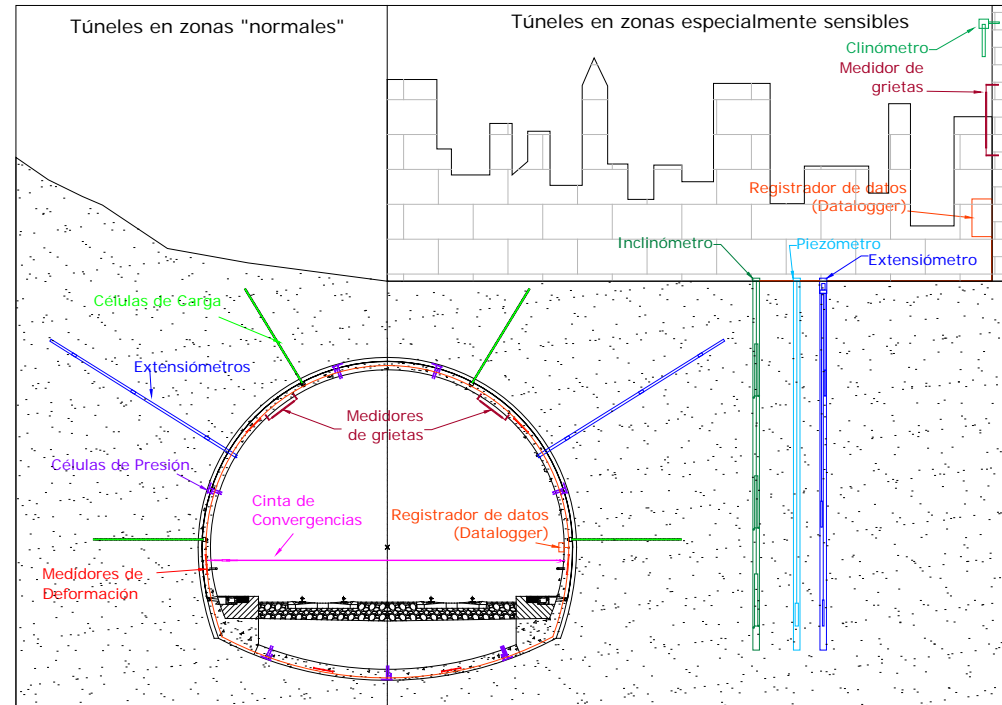
4. Seguimiento de la excavación Interior

- ✓ Auscultación para secciones concretas:
 - ❖ *Empujes del terreno: células de presión radial.*
 - ❖ *Tensión sobre el sostenimiento/revestimiento: Células de presión tangencial, extensímetros en cerchas o barras de armado.*
 - ❖ *Plastificación del macizo alrededor de la excavación. Extensómetros (de barra o incrementales).*
 - ❖ *Objetivo: Controlar un mayor número de parámetros en secciones concretas, adicional a las medidas de convergencia.*



4. Seguimiento de la excavación Exterior

- ✓ Movimientos (subsidiencias):
 - ❖ *Estado previo de edificios.*
 - ❖ *Hitos de nivelación/Dianas edificios*
 - ❖ *Regletas de nivelación.*
 - ❖ *Clinómetros/electroniveles (regletas).*
 - ❖ *Inclinómetros/extensómetros incrementales.*
- ✓ Vibraciones:
 - ❖ *Acelerómetros.*
- ✓ Freáticos:
 - ❖ *Piezómetros.*



5. Detalles constructivos

Influencia en fase de explotación

- ✓ Huecos en trasdós:
 - ❖ *Provoca falta de confinamiento/reacción del anillo (aparición de tracciones), el anillo deja de trabajar a compresión íntegramente.*
 - ❖ *Debido a la naturaleza de los macizos: Calizas, Yesos. Aparición inevitable.*
 - ❖ *Debido al proceso constructivo: voladuras vs rozadoras, Relleno de GAP en tuneladoras o generación de campanas no detectadas.*
 - ❖ *Debido a la dificultad de llenado en clave en revestimiento.*
 - ❖ Problemas en fase de explotación:
- ✓ Juntas constructivas no radiales en el revestimiento:
 - ❖ *Genera un plano artificial de debilidad.*
 - ❖ *El anillo deja de trabajar a compresión en conjunto y se confía la resistencia frente a ciertas sollicitaciones a la resistencia a rasante de la junta.*
 - ❖ *Suele intentar paliarse incluyendo redondos metálicos en la junta que raramente se protegen adecuadamente*



5. Detalles constructivos Influencia en fase de explotación

- ✓ Huecos en trasdós:



5. Detalles constructivos

Influencia en fase de explotación

- ✓ Juntas constructivas no radiales en el revestimiento:



5. Detalles constructivos

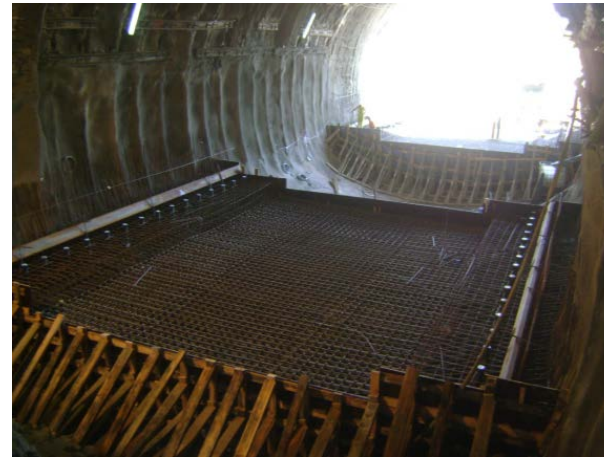
Influencia en fase de explotación

- ✓ Inclusión de elementos metálicos innecesarios:
 - ❖ *Si resultan innecesarios (mallazos en soleras) deterioro del hormigón circundante que sí tiene misión estructural.*
 - ❖ *En caso necesarios es difícil establecer una hipótesis de carga realista a lo largo de todo el túnel. Dificultad para establecer condiciones de fisuración fiables (planteamiento de elemento de separación que impida acceso al agua).*
- ✓ Regularizaciones de soleras-contrabóvedas con material compactado:
 - ❖ *Falta de reacción en el apoyo del anillo.*
- ✓ Transiciones túnel artificial-túnel en mina:
 - ❖ *Suelen provenir de indefinición en el diseño de partida. Situación intermedia entre*
 - ❖ *Provoca asientos diferenciales aparición de grietas, etc.*
- ✓ Falta de información a obra construida:
 - ❖ *Impide diagnosticar con certeza, al desconocerse el historial de una determinada zona y los elementos que componen el túnel.*
 - ❖ *Implica gastos importantes de campañas de investigación*
 - ❖ *Los datos que se obtienen suelen ser medidas indirectas.*

5. Detalles constructivos

Influencia en fase de explotación

- ✓ Inclusión de elementos metálicos innecesarios:
- ✓ Regularizaciones de soleras-contrabóvedas con material compactado:



Necesario



Innecesario

5. Detalles constructivos

Influencia en fase de explotación

- ✓ Transiciones túnel artificial-túnel en mina:
 - ❖ *Suelen provenir de indefinición en el diseño de partida. Situación intermedia entre*
 - ❖ *Provoca asientos diferenciales aparición de grietas, etc.*



5. Detalles constructivos

Influencia en fase de explotación

- ✓ Datos que debiera poseer el explotador al finalizar la construcción de un túnel:
 - ❖ *Perfil geológico real del túnel.*
 - ❖ *Datos de la excavación, sostenimientos aplicados y revestimientos. Tanto de forma sintética, como detallada metro a metro por si resultase necesaria.*
 - ❖ *Incidencias producidas y tratamientos aplicados en zonas conflictivas.*
 - ❖ *Histórico de auscultación, manteniendo operativa toda la que resulte posible.*
 - ❖ *Análisis de riesgos del túnel asociados a la geología existente, diseños adoptados, etc.*
 - ❖ *En la actualidad existe la posibilidad de establecer un punto "0" de estado del revestimiento y posición en coordenadas absolutas (x,y,z) mediante su escaneado.*

- ✓ Estos datos permiten ante la aparición de una determinada patología:
 - ❖ *Conocer su existencia anterior (puede haber existido y no haberse detectado) y/o su evolución desde el punto "0" .*
 - ❖ *Establecer un plan de investigación ajustado a aspectos concretos, sin pérdida de recursos en averiguar de manera general aspectos como espesores de revestimiento, posibles huecos, etc.*
 - ❖ *Establecer con mayor certeza el origen de la patología, especialmente si esta coincide con una zona problemática durante la construcción.*

