

ANEJO 5.- MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE LOS TÚNELES

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	SECCIONES FUNCIONALES PROPUESTAS	1
3.	ALTERNATIVAS CONSTRUCTIVAS	1
3.1.	MÉTODO SECUENCIAL.....	2
3.1.1.	Excavación a Sección Completa	2
3.1.2.	Excavación en Avance y Destroza	3
3.1.3.	Compatibilización de la Excavación a Sección Completa con la de Avance y Destroza	3
3.1.4.	Secciones Tipo de Sostenimiento.....	3
3.1.5.	Rendimientos y Diagramas Espacio-Tiempo.....	4
3.2.	CONSTRUCCIÓN CON TUNELADORA	8
3.2.1.	Sección Funcional y Terrenos a Excavar	8
3.2.2.	Plazos para la Puesta en Marcha y para la Ejecución de la Obra.....	9
4.	CONCLUSIONES	10

1. INTRODUCCIÓN

En el presente Anejo se describe la Propuesta de Métodos Constructivos para los Túneles Belate y Almandoz correspondientes al Proyecto de Trazado de la duplicación de los Túneles de Belate y Almandoz en la carretera N-121-A (Pamplona-Behobia).

2. SECCIONES FUNCIONALES PROPUESTAS

Las secciones funcionales propuestas en los Túneles de Belate y Almandoz tienen dos carriles de circulación de 3,5 m de anchura, un arcén a la derecha de la circulación de 3 m de anchura y un arcén a la izquierda de 1 m. Cuentan con un gálibo de 5,5 m.

En la **Figura 2.a** se muestra la Sección Funcional, sin contrabóveda, para ambos túneles.

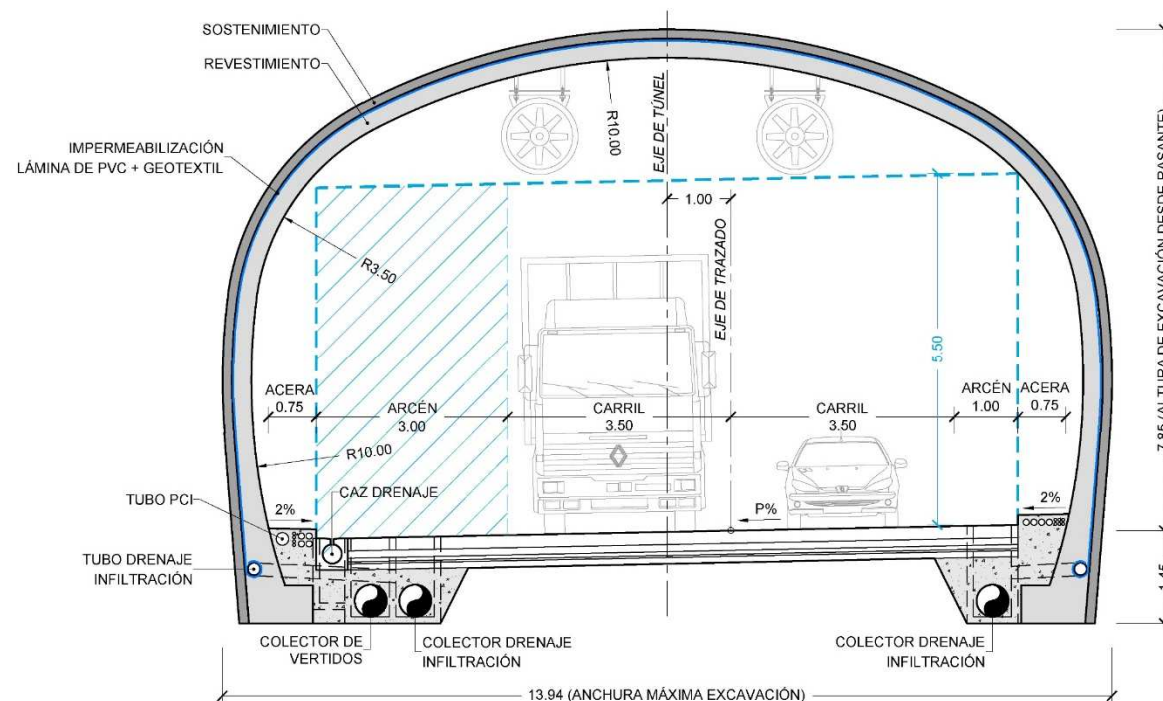


Figura 2.a.- Sección Funcional sin contrabóveda para los túneles de Belate II y Almandoz II.

En la **Figura 2.b** se muestra la propuesta de sección funcional con contrabóveda, aplicable a los tramos de terreno de peor calidad, en ambos túneles.

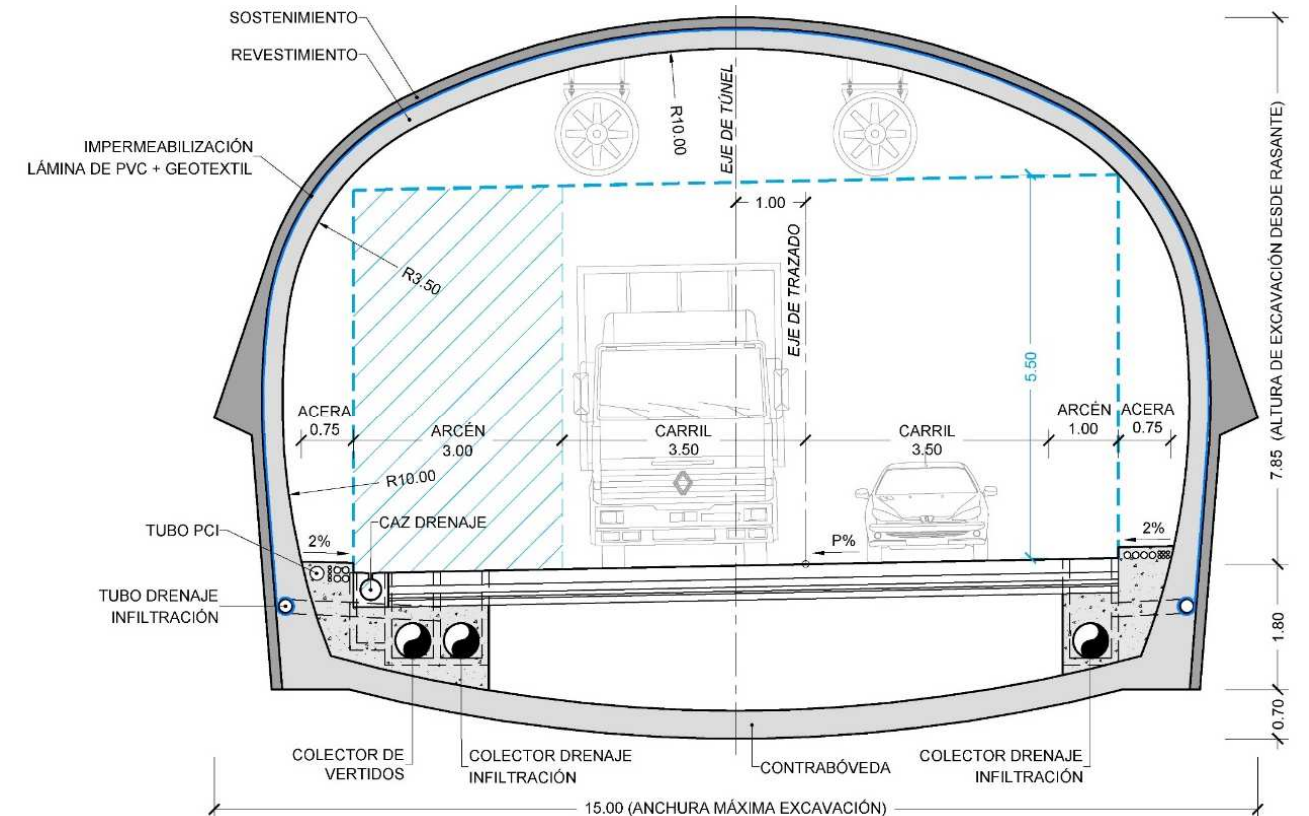


Figura 2.b.- Sección Funcional propuesta con contrabóveda para el Túnel de Belate II y Almandoz II.

3. ALTERNATIVAS CONSTRUCTIVAS

La construcción de los Túneles de Belate II y Almandoz II puede hacerse utilizando el MÉTODO SECUENCIAL, antes denominado NATM, o empleando una tuneladora.

Para determinar cuál es el método más apropiado se han evaluado los plazos que se obtendrían con cada uno de ellos.

En el caso del Método Secuencial los plazos de construcción dependen notablemente de que la excavación se pueda realizar a Sección Completa o deba dividirse en las dos fases clásicas de Avance y Destroza.

En la actualidad se considera que en los tramos de terreno con valores del ICE superiores a 70 puntos, que corresponden a grados de dificultad constructiva baja o muy baja, la excavación puede hacerse a Sección Completa.

3.1. MÉTODO SECUENCIAL

En el Anexo de Geología y Geotecnia del Proyecto de Trazado, se realiza una estimación del comportamiento del terreno mediante el ICE para los Túneles Belate II y Almandoz II, evaluando su dificultad constructiva, a partir de lo cual se identifican los tramos que se estima deben ser excavados a Sección Completa y los que deben excavarse mediante Avance y Destroza.

En la **Tabla 3.1.a** se presenta la evaluación de la dificultad constructiva estimada mediante el ICE del Túnel de Belate II.

Dificultad constructiva	Longitud del túnel afectada (m)	Proporción de la longitud total (%)
Muy baja	16	0,5
Baja	1.080	37,7
Media	730	25,5
Alta	370	12,9
Muy alta	670	23,4
Total	2.866	100,0

Tabla 3.1.a.- Distribución de la dificultad constructiva mediante el ICE en el Túnel de Belate II.

De acuerdo con los datos contenidos en la tabla anterior, el 38,2 % de la longitud del Túnel de Belate II tendrá una **dificultad constructiva baja o muy baja**, lo que permite excavaciones a Sección Completa sin la ejecución de contrabóveda en una longitud de 1.096 m.

Por otro lado, el 25,5 % tendrá una **dificultad media** y el 36,3% una **dificultad alta o muy alta**, lo que requiere de soluciones de excavación en Avance y Destroza junto con la ejecución de contrabóveda, para una extensión de túnel de 1.770 m, que supone el 61,8% de la longitud total.

En la **Tabla 3.1.b** se presenta la estimación de la dificultad constructiva utilizando el ICE, en los tramos en que se ha dividido el Túnel de Almandoz II.

Dificultad constructiva	Longitud del túnel afectada (m)	Proporción de la longitud total (%)
Muy baja	157	11,7%
Baja	970	72,1%
Media	108	8,0%
Alta	0	0,0%
Muy alta	110	8,2%
Total	1.345	100 %

Tabla 3.1.b.- Distribución de la dificultad constructiva en el Túnel de Almandoz II.

De acuerdo con los datos contenidos en la tabla anterior, el 83,8% de la longitud del Túnel de Almandoz II tiene una **dificultad constructiva baja o muy baja**, lo que permite excavaciones a Sección Completa sin la ejecución de contrabóveda en una longitud de 1.127 m.

El 16,2% restante, con una longitud de 218 m, tiene una **dificultad media o muy alta**, lo que requiere excavación en Avance y Destroza y la ejecución de contrabóveda.

En los apartados siguientes, se analizan los principales condicionantes a considerar en el Método Secuencial.

3.1.1. Excavación a Sección Completa

La excavación a Sección Completa en el caso de los Túneles de Belate II y Almandoz II podría ejecutarse en su mayor parte mediante perforación y voladura, con la asistencia parcial de maquinaria de arranque mecánico para un buen perfilado de la sección.

En la **Fotografía 3.1.1.a** se muestra la excavación de un túnel a Sección Completa.



Fotografía 3.1.1.a.- Excavación de un túnel a Sección Completa.

De acuerdo al ICE, se estima que el Método Secuencial con excavación a Sección Completa se podría aplicar en un 38,2% de la longitud del Túnel de Belate, es decir, en 1.096 m de su longitud; y en un 83,8 % de la longitud del Túnel de Almandoz, que se corresponde con 1.127 m.

3.1.2. **Excavación en Avance y Destroza**

Cuando empeora la calidad del terreno a excavar el frente de excavación puede resultar inestable, situación que se puede presentar para valores $ICE < 70$, y para hacer frente a este problema se reduce la altura de excavación, lo cual se consigue excavando en dos fases: AVANCE Y DESTROZA, como se muestra en la **Figura 3.1.2.a**; Con objeto de que la colocación de los bulones y el cargue del terreno excavado se realicen sin dificultad, la altura de la fase de AVANCE debe ser de 6,5 m como mínimo.

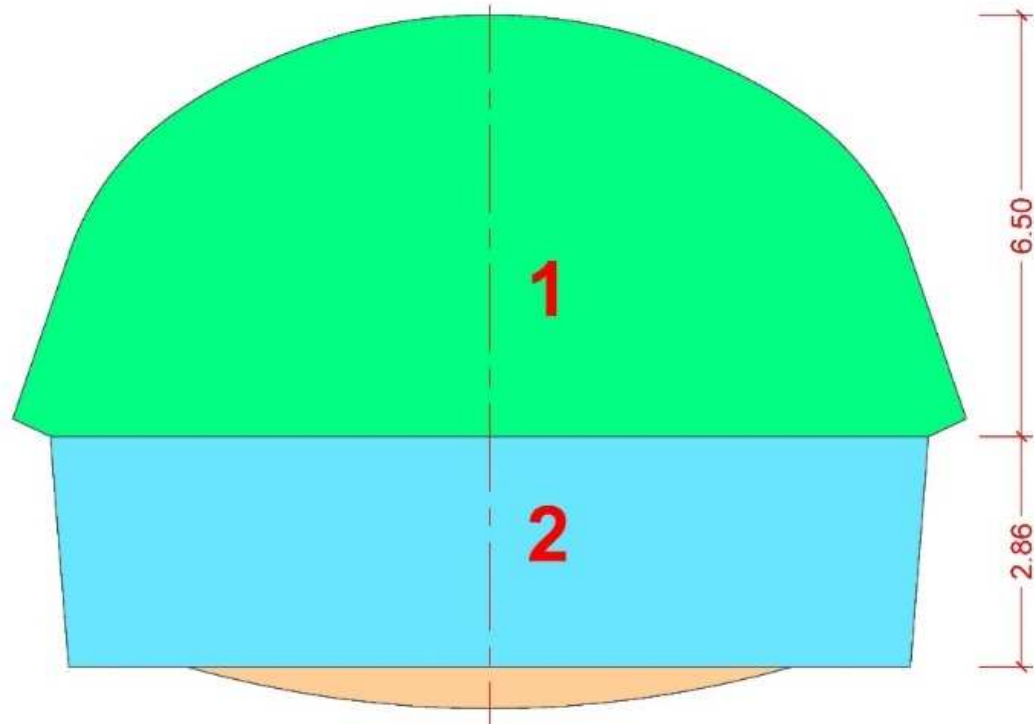


Figura 3.1.2.a.- Esquema de excavación secuencial en Avance y Destroza.

En primer lugar, se ejecuta la excavación en Avance, para luego ejecutar la Destroza, completando la sección de túnel.

En la excavación de la fase de Destroza se obtiene un rendimiento mayor al de la fase de Avance debido a que es posible excavar con una mayor longitud de pase; pues las patas de elefante en las que se apoya el sostenimiento en Avance, impiden la rotación de la sección y, por lo tanto, su colapso.

La excavación en Avance y Destroza podría ser ejecutada mediante perforación y voladura en los terrenos más competentes, y con arranque mecánico (martillo hidráulico y/o pala retro) en los de peor calidad.

De acuerdo al ICE, el Método Secuencial con excavación en Avance y Destroza se podría aplicar en un 61,8% de la longitud del Túnel de Belate; y en un 16,2% de la longitud del Túnel de Almandoz; lo que supone unas longitudes de 1.770 m y 218 m para cada túnel respectivamente.

3.1.3. **Compatibilización de la Excavación a Sección Completa con la de Avance y Destroza**

Considerando que el Túnel de Belate II se construiría desde ambas bocas de acceso, a lo largo del desarrollo del túnel existirán dos situaciones distintas en la ejecución mediante el método secuencial, que se indican a continuación:

- La excavación a Sección Completa cambia a Avance y Destroza, debido a un empeoramiento significativo de la calidad del terreno. Esto requiere generar una rampa de unos 30 m de desarrollo para alcanzar la cota del nivel de avance y realizar su excavación.
- La excavación en Avance y Destroza cambia a Sección Completa, debido al mejoramiento significativo de la calidad del terreno. Esto requiere la ejecución de la destroza en todo el desarrollo del avance para luego continuar a Sección Completa.

Respecto al Túnel de Almandoz II, que se propone construir desde la Boca Norte, se avanza en Sección Completa en el 88,3% de la longitud del túnel, existiendo dos zonas donde será necesario excavar en Avance y Destroza, en la parte central del túnel y en la boca sur.

El método constructivo debe aplicarse en tramos de longitud superior a 40 m, para evitar excesivas transiciones en rampa al pasar de Sección Completa a Avance y Destroza o viceversa.

Las actuaciones a realizar en los cambios de secuencia constructiva se resumen en la **Tabla 3.1.3.a**.

Condiciones de Excavación del Frente	Consecuencias sobre la secuencia de excavación	Actuaciones
Mejora significativa de la calidad del terreno	De Avance y Destroza a Sección Completa	Se propone ejecutar la Destroza en todo el tramo en Avance para así continuar a Sección Completa.
Empeoramiento significativo de la calidad del terreno	De Sección Completa a Avance y Destroza	Construcción de una rampa con una pendiente del 11% (30 m de desarrollo) a la cota de la sección de Avance. Colocación de micropilotes en la clave u otras medidas si se requiere.

Tabla 3.1.3.a. Actuaciones a realizar por cambio de las condiciones del frente de excavación.

Esta compatibilización de secuencias constructivas se ha considerado en la realización del diagrama de espacio-tiempo de la ejecución de la obra civil de los túneles mediante el Método Secuencial incluido en el Apartado 3.1.5.

3.1.4. **Secciones Tipo de Sostenimiento**

En la **Tabla 3.1.4.a** se muestran los sostenimientos recomendados para cada rango de valores del ICE, a partir de la cual se pueden estimar las secciones de sostenimiento.

ICE	Comportamiento de la excavación	Posible mecanismo de la inestabilidad	Excavación de la Sección	Sostenimiento orientativo	Elementos especiales de sostenimiento	Convergencia medible en obra	Tipo de revestimiento
> 130	Totalmente elástico	Caída gravitacional de bloques de roca. En estados tensionales muy asimétricos y con grandes recubrimientos, posibles estallidos de roca.	↑ SECCIÓN COMPLETA ↓ AVANCE Y DESTROZA	Bulones $\begin{cases} E_T = 2 \text{ m} \\ L = 4,5 \text{ m} \\ E_L = 2,5 \text{ m} \end{cases}$ Hormigón proyectado: 5 cm	NO	Inapreciable	Bóveda y paramentos de hormigón. Solera en terreno natural.
70-130	En el límite elasto-plástico	Caída gravitacional de bloques de roca		Bulones $\begin{cases} E_T = 2 \text{ m} \\ L = 4,5 \text{ m} \\ E_L = 2 \text{ m} \end{cases}$ Hormigón proyectado: 10 cm	NO	Milimétrica	Bóveda, paramentos y solera plana de hormigón.
40-69	Plastificación moderada	Colapsos puntuales de pocos m³		Bulones $\begin{cases} E_T = 1,5 \text{ m} \\ L = 4,5 \text{ m} \\ E_L = 1,5 \text{ m} \end{cases}$ Hormigón proyectado: 15 cm	NO	Centimétrica	Bóveda y paramentos de hormigón. Contrabóveda de hormigón con flecha 0,1 x Anchura de excavación.
15-39	Plastificación intensa	Colapsos puntuales de algunas decenas de m³. Hincamiento del sostenimiento colocado en el Avance		Cerchas TH-29 a 1 m 20 cm HP Hormigón Proyectado: 25 cm	Patas de elefante para apoyar las cerchas del Avance.		Bóveda y paramentos de hormigón. Contrabóveda de hormigón con flecha del 0,2 x Anchura de excavación.
<15	Plastificación muy intensa	Hincamiento del sostenimiento colocado en el Avance. Inestabilidad del frente		Cerchas HEB-180 a 1 m Hormigón Proyectado: ≥ 30 cm	- Patas de elefante. - Paraguas pesado. - Bulonaje del frente. - Micropilotes de recalce.	Decimétrica	Revestimiento casi circular de hormigón, armado en la contrabóveda.

Tabla 3.1.4.a.- Secciones Tipo de Sostenimientos definidas por el ICE.

A partir de la definición de los sostenimientos según el ICE, se pueden estimar las características de las Secciones Tipo de Sostenimiento a aplicar para la excavación de los túneles mediante el Método Secuencial; que se muestran en la **Tabla 3.1.4.b.**

Definición			Sostenimiento				Revestimiento	
Rango ICE	Tipo de Sostenimiento	Excavación	Pase de Avance	Sellado + Sostenimiento (H/MP/35)	Bulones (TxL) de Longitud 4.5 m	Cerchas / Espaciado (m)	Espesor Bóveda (m)	Solera / contrabóveda (m)
>130	ST-I	Sección Completa	4 m	10 cm	SWELLEX (2 x 2,5)	-	0,3 hormigón encofrado	-
70 - 130	ST-II		3 m	15 cm	SWELLEX (2 x 2)	-		-
40 - 69	ST-III	Avance y Destroza	2 m Avance / 4 m Destroza	20 cm	SWELLEX (1,5 x 1,5)	-		Contrabóveda con Flecha de 0,7 m y 40 cm de espesor
15 -39	ST-IV		1,5 m Avance / 3 m Destroza	25 cm	-	THN-29 a 1 m		Contrabóveda con Flecha de 1,1 m y 40 cm de espesor
<15	ST-V		1 m Avance / 2 m Destroza	30 cm	-	HEB-180 a 1 m		Contrabóveda con Flecha de 3,0 m y 50 cm de espesor

Tabla 3.1.4.b.- Secciones Tipo de Sostenimiento para los Túneles de Belate II y Almandoz II, aplicando el Método Secuencial.

En los emboquilles de los túneles, dado que son zonas donde el terreno usualmente se encuentra más alterado, se dispondrá un sostenimiento pesado, correspondiente a la Sección Tipo ST-V, en una longitud de 15 m.

En los **Planos 10.4.1 y 10.4.2** se muestran los sostenimientos tipo de los nuevos Túneles Belate y Almandoz.

3.1.5. Rendimientos y Diagramas Espacio-Tiempo

Para estimar el tiempo necesario en ejecutar cada Sección Tipo de Sostenimiento, se ha tenido en cuenta el ciclo de trabajo para su ejecución, en el que se han considerado las principales actividades:

- Perforación y Voladura (replanteo, perforación, carga-voladura y ventilación).
- Arranque mecánico (Martillo Hidráulico y pala retro).
- Desescombro (retiro de material con pala cargadora).
- Bulonado.
- Instalación de Cerchas.
- Instalación de Lámina de impermeabilización.
- Ejecución del revestimiento con estructura de encofrado.

En la **Tabla 3.1.5.a** se muestran los rendimientos estimados para la ejecución de cada Sección Tipo de Sostenimiento, incluidos la impermeabilización y el revestimiento con hormigón encofrado, obtenidos de la experiencia de los proyectos y obras en que ha participado GEOCONTROL y SERTECNA.

Rango ICE	Tipo de Sostenimiento	Rendimientos (m/mes)			
		Excavación y sostenimiento en Avance o Sección Completa		Impermeabilización	Revestimiento
		Rango	Valor Medio		
>130	ST-I	> 200	200	450	360
70 - 130	ST-II	150 -200	175	450	360
40 - 69	ST-III	100 - 150	125	450	360
15 -39	ST-IV	50 - 100	75	450	360
<15	ST-V	< 50	50	450	360
Emboquilles	ST-E	< 50	50	450	150

Tabla 3.1.5.a.- Rendimientos estimados para la ejecución de las diferentes Secciones Tipo de Sostenimiento mediante el Método Secuencial.

Cabe indicar que para la estimación de los rendimientos indicados la tabla anterior se han adoptado las siguientes hipótesis:

- 1 mes y medio de actividades previas a la construcción.
- Se ha considerado 14 días de actividades en el emboquille.
- Los rendimientos estimados están asociados a un frente de construcción.
- Los rendimientos de la fase de Destroza se consideran el doble que los de la fase de Avance.
- En los emboquilles se ejecutarán 15 m de túnel con sostenimiento pesado (ST-V).
- La impermeabilización inicia una vez finalizada la excavación y sostenimiento.
- El montaje de la estructura del encofrado se ha estimado en 7 días.
- El revestimiento mediante hormigón encofrado, considera la utilización de dos carros de encofrado para el Túnel de Belate II, trabajando uno desde cada boca a un rendimiento de 12 m/día por carro.
- El revestimiento mediante hormigón encofrado, considera la utilización de un carro de encofrado para el Túnel de Almandoz II, trabajando desde la boca norte a un rendimiento de 12 m/día.
- En la actividad de revestimiento se ha considerado un rendimiento menor (5 m/día) en los primeros 15 metros de túnel, con el fin de simular un periodo de aprendizaje.
- El inicio del revestimiento comienza una vez finalizada la etapa de sostenimiento del túnel, una semana después del comienzo de la impermeabilización.

En la **Figura 3.1.5.b** y **Figura 3.1.5.c** se muestran los Diagramas de Espacio Tiempo estimados para la construcción de la Obra Civil de los Túneles de Belate II y Almandoz II, respectivamente.

El Diagrama del Túnel de Belate II ha considerado, por su significativa longitud, dos frentes de construcción, mientras que el Túnel de Almandoz II un solo frente que se atacará por la boca norte.

En la **Tabla 3.1.5.d** y en la **Tabla 3.1.5.e** se muestra un resumen de los plazos más significativos de la Obra Civil del desdoblamiento de los Túneles Belate y Almandoz, respectivamente, mediante el Método Secuencial.

Actividad	Duración en Meses
Actividades previas a la construcción	2,0
Excavación y Sostenimiento	21,2
Ejecución del Revestimiento (incluye montaje del carro de encofrado)	4,2
Plazo de ejecución de la Obra Civil	27,4

Tabla 3.1.5.d.- Plazos de ejecución de la Obra Civil mediante el Método Secuencial – Túnel de Belate II.

Actividad	Duración en Meses
Actividades previas a la construcción	2,0
Excavación y Sostenimiento	11,3
Ejecución del Revestimiento (incluye montaje del carro de encofrado)	4,0
Plazo de ejecución de la Obra Civil	17,3

Tabla 3.1.5.e.- Plazos de ejecución de la Obra Civil mediante el Método Secuencial – Túnel de Almandoz II.

Dado que la construcción de los dos túneles mediante el Método Secuencial es independiente, el camino crítico para finalizar la Obra Civil de los nuevos túneles lo marca el Túnel Belate II con un plazo de **27,4 meses**.

Las galerías de evacuación, que conectan los túneles existentes con los nuevos, se pueden ejecutar de manera simultánea a la excavación del túnel, no siendo una actividad crítica, debido a la escasa distancia entre túneles y por el área de excavación reducida de las galerías; menor de 30 m².

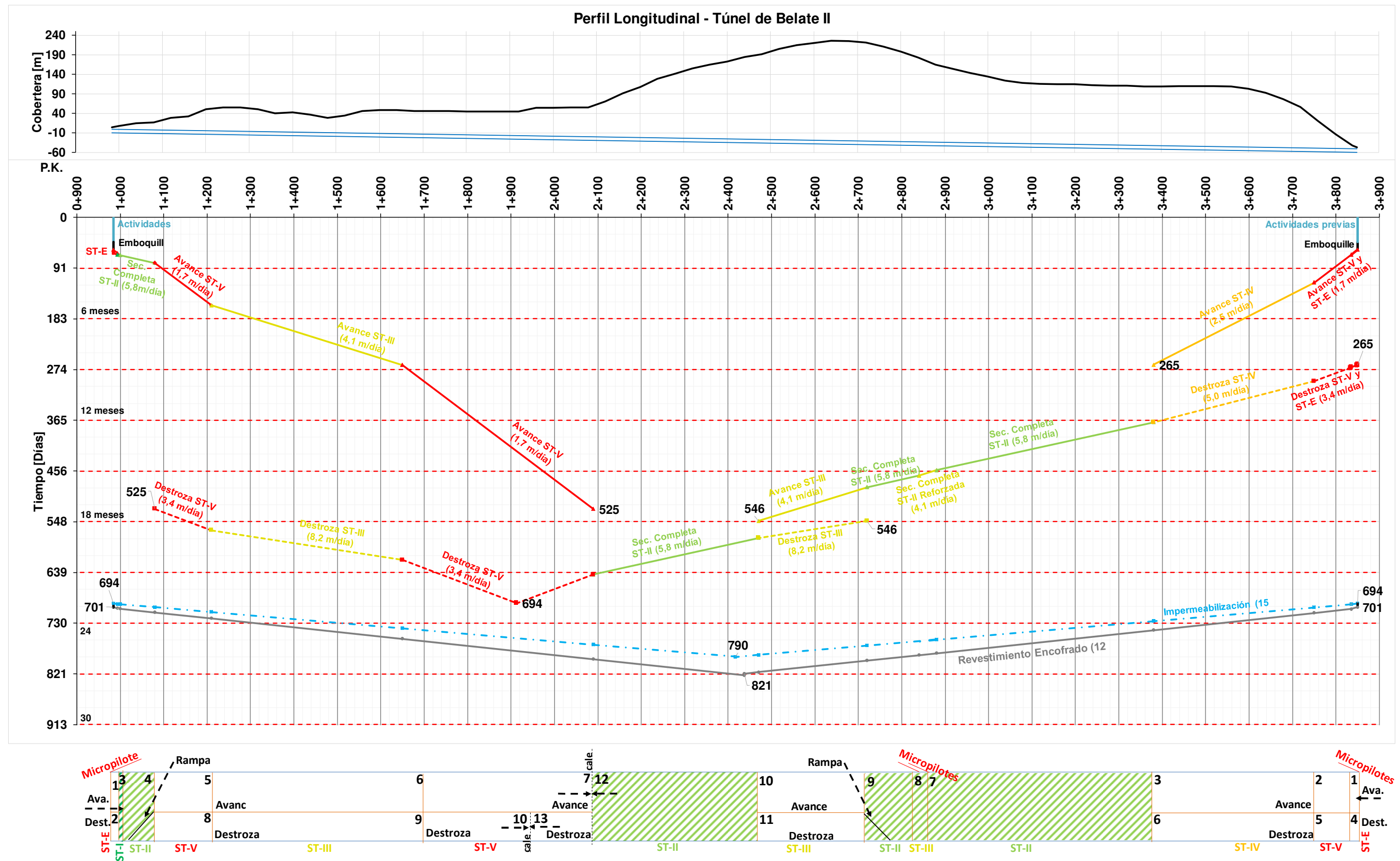
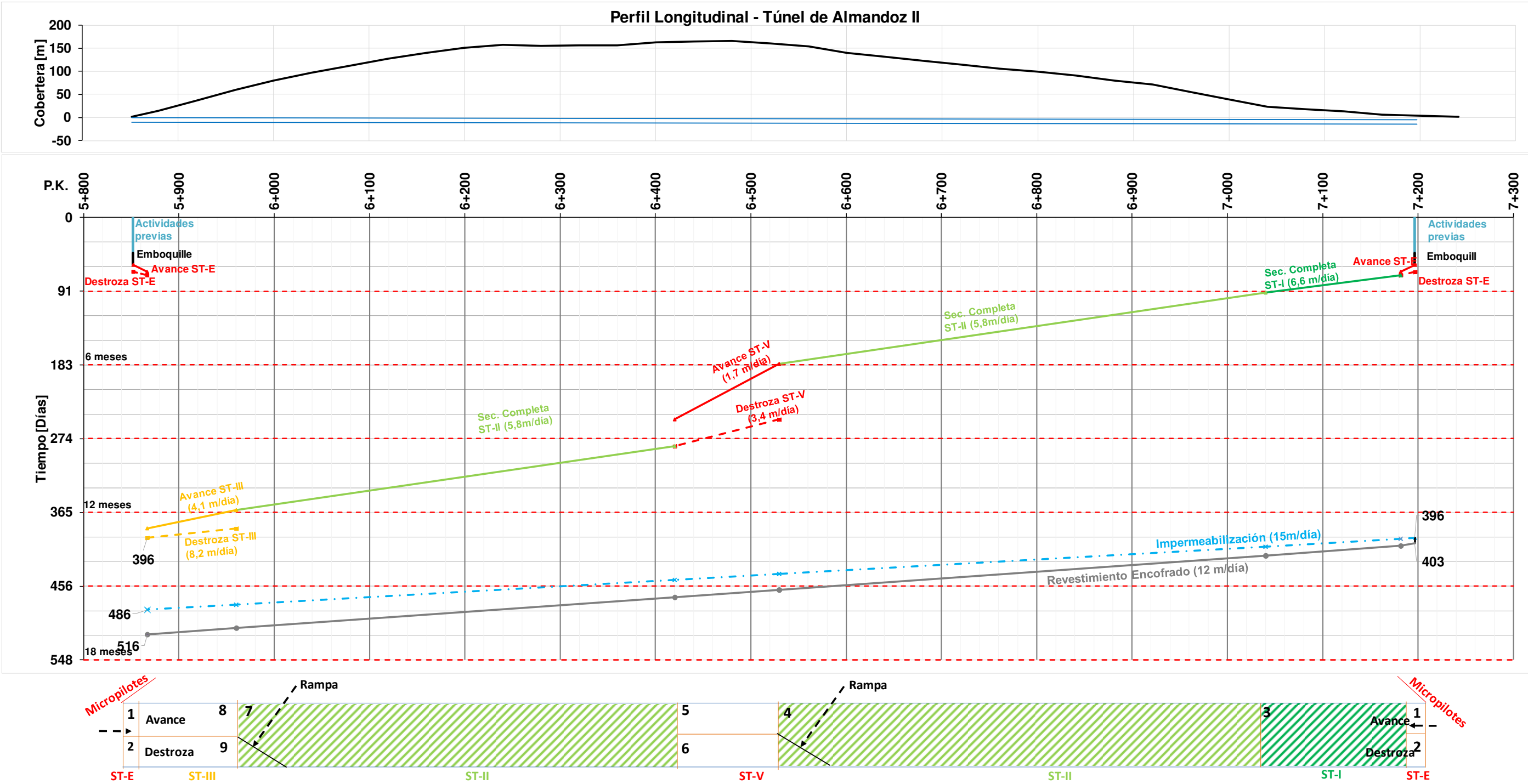


Figura 3.1.5.b.- Diagrama Espacio-Tiempo para la construcción del Túnel de Belate II (tramado verde para excavación a Sección completa).



3.2. CONSTRUCCIÓN CON TUNELADORA

En los apartados siguientes se analizan los principales condicionantes a considerar para la construcción de los nuevos túneles con una tuneladora.

3.2.1. Sección Funcional y Terrenos a Excavar

Tomando en consideración las dimensiones de la sección adoptada para los túneles, que se muestran en el Apartado 2, la sección dispone de dos carriles de 3,5 m de anchura cada uno, presenta un arcén de 3,0 m en el lado derecho y otro de 1,0 m en el lado izquierdo. A ambos lados de la calzada existen dos aceras de 0,75 metros cada una y dispone de un gálibo de 5,5 m.

La construcción de túneles con una TBM implica que la sección excavada sea circular. En el caso del Túnel Belate II, tal como se muestra en la **Figura 3.2.1.a**, el diámetro de excavación para alojar las dimensiones de la sección debería ser de 13,84 m; que es una cifra importante, pero compatible con la tecnología actual.

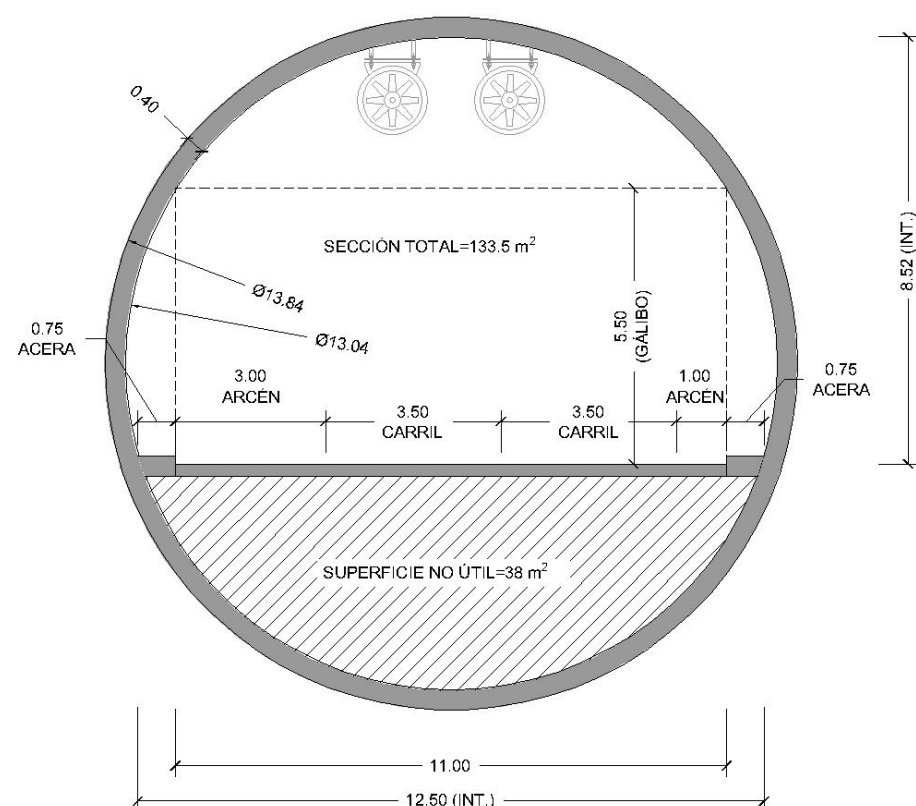
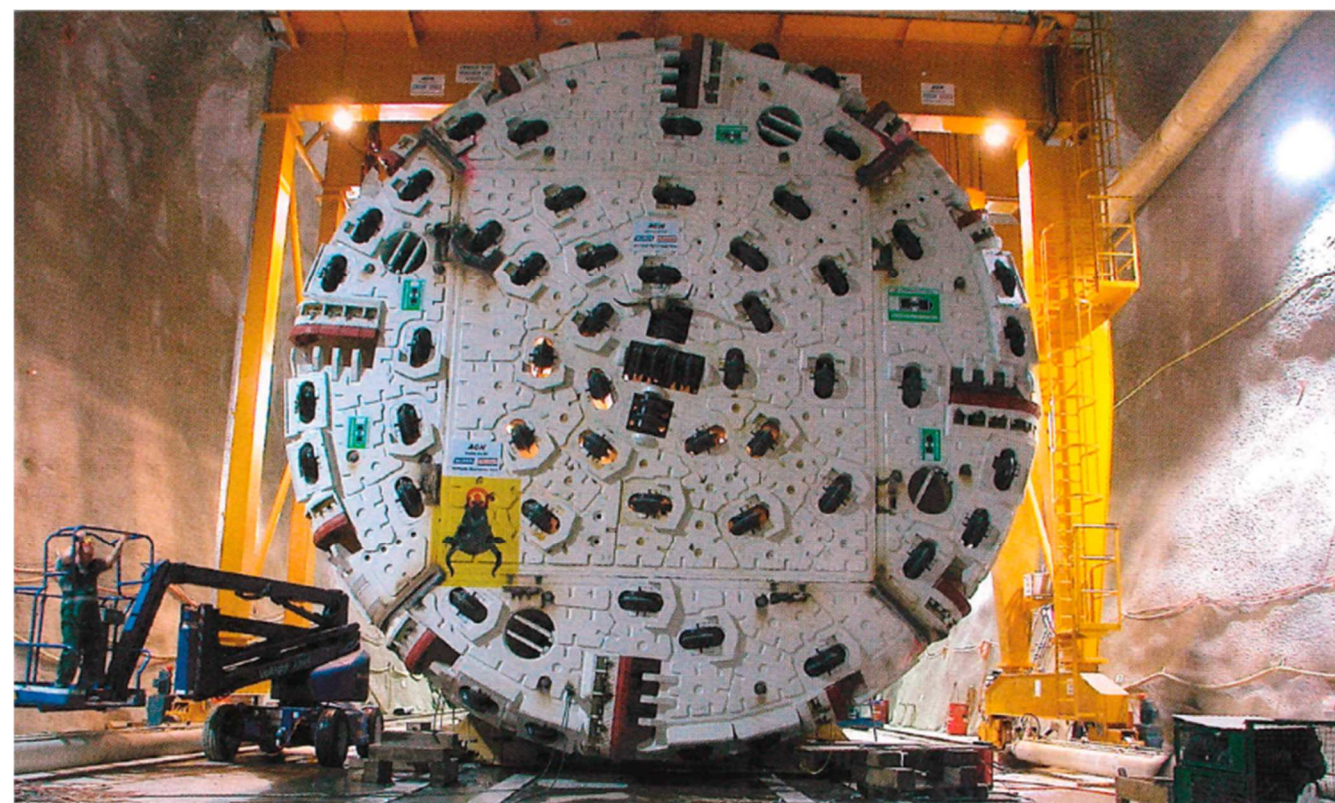


Figura 3.2.1.a.- Sección a excavar con una tuneladora.

Tal como se aprecia en la figura anterior, de los 133,5 m² útiles, sólo 95,5 m² son necesarios para ubicar la calzada y respetar el gálibo de 5,5 m. Esto supone que se excavan 38,0 m² que no son necesarios, resultando una sección un 23,6 % mayor que la Sección Funcional aplicable con el Método Secuencial; el coste que supone este exceso de excavación debe ser compensado con los mayores rendimientos de la TBM, lo cual exige longitudes de túnel entre 4 y 5 Km.

Los Túneles Belate II y Almandoz II presentan unos terrenos a excavar con características muy diferentes; los terrenos en los que se debe construir el nuevo Túnel de Almandoz presentan dificultad constructiva baja o muy baja en un 88,3 % de su longitud; mientras que en el Túnel de Belate II ese porcentaje baja al 38,2 %, tal y como se indica en el Apartado 3.

En estas condiciones, el Túnel de Almandoz podría ser excavado por una tuneladora escudada para roca dura, con frente abierto, equipada con una cabeza de corte como la que se muestra en la **Fotografía 3.2.1.b** y en la que el material excavado se extraería del túnel mediante cinta transportadora.



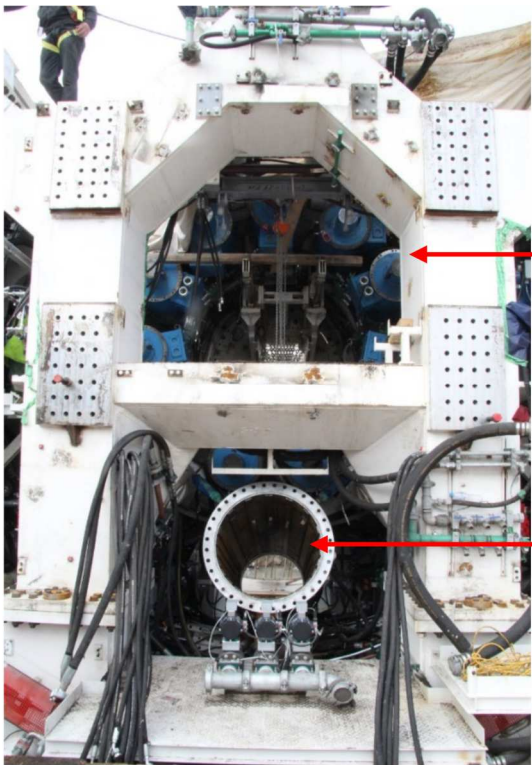
Fotografía 3.2.1.b.- Tuneladora equipada con una cabeza de corte para roca.

Sin embargo, en el Túnel de Belate, al existir un 61,8% de terrenos con dificultad constructiva de media a muy alta, se debería utilizar una tuneladora con cabeza mixta como la que se muestra en la **Fotografía 3.2.1.c**, capaz de trabajar en modo EPB y equipada con tornillo helicoidal para la evacuación del material excavado.

La solución para excavar ambos túneles con una sola máquina es utilizar una tuneladora dual, equipada con cinta transportadora y tornillo helicoidal, capaz de aplicar presión en el frente, como la empleada en la reciente construcción de los Túneles de Toluca en México. En la **Fotografía 3.2.1.d** se muestra una vista de los alojamientos de cinta transportadora y tornillo helicoidal de esta máquina.



Fotografía 3.2.1.c.- Tuneladora equipada con una cabeza de corte mixta.



Alojamiento de la
cinta transportadora

Alojamiento del
tornillo helicoidal

Fotografía 3.2.1.d.- Vista de los alojamientos de cinta transportadora y tornillo helicoidal en tuneladora dual, empleada en la construcción de los Túneles de Toluca, México.

3.2.2. Plazos para la Puesta en Marcha y para la Ejecución de la Obra

El plazo para la construcción de un túnel empleando una tuneladora está muy condicionado por el tiempo necesario para comprar la tuneladora y su montaje en obra; en la **Tabla 3.2.2.a**, se muestran los plazos estimados para el inicio de la excavación con una tuneladora.

Actividad	Tiempo estimado (meses)
Sección de la oferta y orden de compra	3,0
Diseño y Fabricación de la tuneladora	12,0
Transporte de la tuneladora a la obra	3,0
Montaje en obra y pruebas	3,0
TOTAL	21,0

Tabla 3.2.2.a.- Tiempo estimado de puesta en marcha de la tuneladora.

Preliminarmente, se puede indicar que los 21 meses que se requieren para poner en obra la tuneladora representa un 76% del tiempo máximo de ejecución mediante el método secuencial.

Otro condicionante importante para poder utilizar una TBM es que ésta debe construir ambos túneles, para que la longitud a excavar supere los 4 Km y empiece a resultar rentable el uso de la TBM.

Sin embargo, esto implica que primero se deba construir primero el Túnel Almandoz II y a continuación el de Belate II; realizando una estimación constante del rendimiento de la tuneladora en cuestión de 400 m/mes, se obtiene un tiempo de ejecución de acuerdo con la **Tabla 3.2.2.b**.

Actividad	Tiempo estimado (meses)
Excavación Túnel de Almandoz II	3,5
Traslado al Túnel de Belate II	4,0
Excavación Túnel de Belate II	7,5
TOTAL	15,0

Tabla 3.2.2.b.- Tiempo estimado de excavación de los túneles.

Con lo cual se obtiene un plazo de excavación total de **36 meses** desde la orden de compra de la tuneladora hasta terminar la excavación del Túnel de Belate II.

4. CONCLUSIONES

Una vez realizado el análisis comparativo entre los dos métodos de construcción se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La utilización de una TBM en la construcción de los Túneles de Belate II y Almandoz II supone un plazo de ejecución de la Obra Civil de estos túneles de 36 meses, que supera en 8,6 meses el plazo estimado con el Método Secuencial.
- El empleo de una TBM supone que se excaven innecesariamente 38 m³/ml; lo cual implica enviar al vertedero unos 216.000 m³ de terreno excavado, circunstancia que se evita con el Método Secuencial.
- La longitud conjunta de los Túneles Belate II y Almandoz II apenas supera los 4 Km, que es el límite inferior de la longitud en la que una TBM sea rentable.
- Las diferentes características de los terrenos a excavar en los Túneles de Belate II y Almandoz II haría necesario utilizar una TBM con cabeza mixta; con lo cual sería difícil obtener la media de 400 m/mes que se ha estimado en la comparación realizada.

Por todo lo anterior, GEOCONTROL y SERTECNA recomiendan que la construcción de los Túneles Belate II y Almandoz II sea planteada mediante el Método Secuencial, excavando a Sección Completa en los tramos con valores ICE>70.