

9. CASOS DE ESTUDIO

En este apartado realizaremos la última comprobación del modelo. Hubiera sido deseo expreso del redactor de este documento, el poder contar con datos reales de una o varias obras aportados por constructoras, tanto de su previsión de coste y plazo en proyecto como del tiempo y coste final. Desgraciadamente las constructoras no son receptivas a facilitar este tipo de información. Presentamos no obstante 3 casos bien documentados que darán consistencia al modelo desarrollado.

9.1. TÚNEL DEL EMISARIO TERRESTRE “A MALATA-CABO PRIORIÑO” EN FERROL.

Durante décadas, las aguas residuales de la ciudad de Ferrol han sido vertidas al mar. Esto ha traído como consecuencia que la ría se resienta y necesite una regeneración. Tras muchos proyectos, finalmente, se han puesto en funcionamiento, las actuaciones que harán de Ferrol y su ría un entorno medioambiental saneado. En Septiembre de 2003 se firma un convenio entre la Xunta de Galicia, Aguas de Galicia y la Confederación Hidrográfica del Norte, para la financiación de la mejora de depuración y vertido de Ferrol. Con el esfuerzo inversor del Ministerio de Medio Ambiente y la Xunta de Galicia, con el apoyo de Fondos FEDER y de Cohesión de la Unión Europea, las aguas de Ferrol, Narón y Neda serán depuradas antes de enviarlas al mar, con el consiguiente beneficio y mejora en la calidad ambiental de Ferrol y su ría. El túnel está situado en el oeste de la Provincia de La Coruña, concretamente en el Término Municipal de Ferrol.

El proyecto consiste en la construcción de un túnel de 7.344 metros de longitud, con un diámetro de excavación de 3,70 metros y de 3 metros de diámetro interior, con una pendiente longitudinal de 1,86 por mil, con la finalidad de llevar las aguas residuales desde la Estación de bombeo de La Malata, hasta la Estación Depuradora de Cabo Prioriño. Está presupuestado en 37,158 millones de euros. Puesto que este coste corresponde al año 2005, deberemos aplicar el incremento de precios medio anual, que se sitúa en el 4%, para cada uno de los dos años transcurridos, de forma que ahora sí podamos comprobar la validez del coste estimado. El coste total de la obra proyectado para el año 2007 será de 40,19 millones de euros⁷.

La zona del Proyecto, se sitúa en la zona Galicia Tras os Montes de la unidad Paleogeográfica Centro-Ibérica, que va desde el Precámbrico hasta el Devónico. Se trata de una intrusión tardía, de forma cilíndrica de la serie Ordenes. La granodiorita es la roca presente en todo el túnel. El grano es de tamaño medio-grueso, con megacrístales de feldespato. En general, se puede considerar como una roca de gran dureza y con un índice de calidad alto. Estos materiales han sido afectados por una tectónica polifásica de edad hercínica. Las fallas detectadas presentan dos orientaciones principales: NO-SE, con buzamiento al noroeste y NO-SE, con buzamiento muy vertical. El túnel discurre por un macizo granítico que es permeable únicamente por fracturación, en el que hay una capa superficial de alteración de unos 20 a 25 metros de espesor, por donde circula el agua freática y que recarga las fracturas del macizo. La permeabilidad

⁷ P.E.M. Presupuesto de ejecución material.

media del macizo es del orden de 10^{-7} y 10^{-8} m/s. El nivel freático, se encuentra muy superficial, en torno a los 10 metros de profundidad.

Como dato adicional, podemos destacar que la resistencia a la compresión simple media es de 73,64 Mpa. La falla de mayor entidad observada, es la Falla del Valle de Cariño, en la cual se observan arenizaciones importantes, con caolinitización y zonas de óxidos asociadas a circulación de agua. Esta Falla será atravesada por el Túnel entre los P.K. 3+210 a 3+400 y como información adicional decir que la montera en el túnel oscila entre los 20 y los 220 metros.

En relación al trazado en planta, se diseñó, tomando en consideración los siguientes criterios:

- Implantación de los portales en zonas favorables desde el punto de vista geotécnico como desde su ubicación en el entramado urbanístico, especialmente en el caso de La Malata.
- Implantación del túnel en las zonas de geología más favorable.
- Menor longitud posible.
- Radios mínimos aceptables para poder realizar la excavación con una máquina tuneladora.

En función a las características del macizo rocoso a atravesar por el Emisario Terrestre, el proyecto aconsejaba la utilización de una máquina tuneladora de frente abierto, sin escudo, con una potencia de 1.500 KW, un empuje en torno a las 900 Ton. y 28 cortadores de 17", con un diámetro nominal de 3,70 metros. La máquina debería contar con aperturas o ventanas en la cabeza cortadora para poder perforar los sondeos de reconocimiento en avance, así como los de inyección y tratamiento del terreno. Con relación al guiado, la máquina debe disponer de un sistema de guiado y posicionamiento que le permita en todo momento conocer su posición y orientación tanto en planta como en alzado. Para la ejecución del túnel, NECSO propuso la utilización de una máquina tuneladora ROBBINS. Las características principales de la tuneladora son:

- Año de fabricación: 1.991.
- Modelo: 1215-265.
- Diámetro de excavación: 3.70 metros.
- Nº de motores: 4.
- Potencia: 1.800 HP.
- Velocidad cabezal de corte: 11.9 rpm.
- Empuje: 875 Ton.
- Número de cortadores: 26.
- Diámetro de cortadores: 19 ".

El cuerpo principal de la máquina cuenta con martillos perforadores de bulones a ambos lados y un sistema erector de cerchas. La máquina cuenta con un back-up de

aproximadamente 192 metros de longitud, de los cuales 82 metros corresponden al cambio californiano. El guiado de la máquina, se realiza con el sistema PPS (Poltinger Precision Systems). Este sistema permite determinar automáticamente la posición exacta y la dirección a seguir así como la corrección de las desviaciones con respecto al eje de proyecto, el cual ha sido previamente introducido en el ordenador del sistema. El sistema consta de un teodolito motorizado que realiza lecturas continuas a dos prismas motorizados ubicados en el cuerpo principal de la tuneladora y a un prisma remoto situado en la parte posterior, el cual sirve como elemento de orientación. Toda esta información es presentada en un monitor de la cabina de mando del operador, el cual, en todo momento conoce la posición exacta de la tuneladora. Este sistema ha sido utilizado en diversos proyectos a nivel mundial en este tipo de máquinas, así como en rozadoras, EPB, microtúneles, etc.

Este modelo de máquina tuneladora, fue diseñado por Robbins en el año 1991 para el proyecto de Meraker en Noruega. Uno de los principales logros obtenidos en el diseño de esta máquina, es que por primera vez en la historia, se conseguía excavar con una carga sostenida de 32 Toneladas por cortador. En este proyecto, se logró obtener un avance promedio de 253 metros por semana, en un túnel de 3,5 metros de diámetro. Una vez finalizada la excavación del túnel, la máquina fue acondicionada para perforar con un diámetro de excavación de 4,23 metros. Esta máquina, fue luego utilizada para la construcción de un túnel de aproximadamente 9 Km. en el Medio Este, el cual fue finalizado a comienzos de 1997. Previo a la excavación del túnel del Emisario Terrestre, esta máquina, había sido utilizada en el Túnel C (Tseung Kwan to Kwung Tong) del Proyecto. Hong Kong Strategic Sewage. Etapa I. En esta obra, obtuvo rendimientos de 98 metros por semana.

Previamente al inicio de la excavación del túnel, fue necesario realizar una explanada con una superficie aproximada de 14.000 m², zona desde la cual partiría la máquina tuneladora y donde se colocarían las instalaciones necesarias para acometer los trabajos. Una vez finalizada, la excavación del túnel, esta misma zona, formará parte de la estación depuradora de aguas residuales. Fue necesaria la excavación de aproximadamente 325.000 m³ de material en roca, mediante la utilización de voladuras. Esta condición, obligó a que la máquina tuneladora, fuera ensamblada en un taller de la zona y posteriormente, una vez finalizada la excavación de la explanada, fuera transportada a obra, para el inicio de la construcción del túnel. El transporte a la obra se efectuó por carretera, siendo la longitud total de transporte alrededor de unos 15 Km., de los cuales, los 4 primeros discurren por autovía. Los restantes transcurren por carreteras estrechas, con fuertes pendientes, pronunciados peraltes y con curvas cerradas dentro de un espacio semi-urbano. Se requirió el apoyo de la Policía Local, para la coordinación del tráfico. En virtud al peso de la tuneladora, fue necesario contar con dos cabezas tractoras en la parte posterior y anterior de la tuneladora. Se contaba adicionalmente con dos grúas en ambos extremos del convoy, para poder asistir al transporte en las zonas de pendientes elevadas, en las que la fuerza motriz de las cabezas tractoras no fuera capaz de continuar la marcha. En total, el proceso de traslado a obra duró aproximadamente 6 horas.

En virtud a que los datos disponibles de rendimientos pertenecen a un período de ejecución pasado, a efectos del presente análisis, se mostrarán los avances y las experiencias obtenidas hasta el 28 de Febrero del 2005. Los trabajos de excavación del túnel se iniciaron a finales del mes de Agosto del 2004.

En una primera fase, se comenzó con la implementación de un solo turno de trabajo de entre 8 y 10 horas al día, esto permitió, el emboquille de la máquina y la entrada del back-up al interior del túnel. A finales de Noviembre, prácticamente una vez ingresado el backup en el interior del túnel, se implementó una jornada de doble turno de aproximadamente 12 horas por turno durante 5 días a la semana.

La empresa encargada de la construcción del túnel es NECSO Entrecanales y Cubiertas, empresa con larga experiencia en la construcción de obras similares. Hasta el 28/02/2005, se excavaron 1.032,222 metros, lo cual representa un 14,06 % de la excavación total del túnel y un rendimiento de 171 m/mes.

El avance en la excavación ha sido menor que lo esperado, no obstante, el rendimiento ha ido aumentando paulatinamente, en función a los cambios dispuestos en el esquema de trabajo, es decir, con la incorporación de un segundo turno y la implementación de la utilización de un cambio californiano. Consideramos importante destacar, que uno de los factores a tener en cuenta en lo relativo al rendimiento, ha sido la denominada "curva de aprendizaje". A pesar de contarse en obra con gente experimentada, siempre se produce un proceso de adaptación al sistema de excavación, de sostenimiento y a la metodología, hasta que se logran acoplar de forma eficiente los equipos de trabajo. Hasta la fecha de referencia, este proceso ha sido superado y el rendimiento obtenido en el último mes considerado fue de 336 metros en 19 días de excavación. Los registros de excavación obtenidos hasta la fecha se muestran a continuación en la siguiente tabla:

	Avance (m)	Período
Mejor turno	15,033	Turno Nocturno 17/02/05
Mejor día	28,948	17/02/2005
Mejor semana	108,644	Del 14 al 20/02/05
Mejor mes	336,112	Febrero del 2005

Tabla 12.- Registros de excavación obtenidos.

Para completar el estudio de rendimientos se enumeran a continuación las averías o paradas más frecuentes:

- Cinta transportadora de la máquina tuneladora, así como la cinta transportadora del back-up: Ha habido problemas con el descentrado de la cinta en los rodillos, con roturas de la cinta y con problemas asociados al rodillo principal, el cual ha tenido que ser sustituido en 3 ocasiones.
- Descarrilamiento de vagones cargados de escombros en el cambio californiano.
- Averías continuas del polipasto, que han impedido continuar la excavación ante la imposibilidad de colocar dovelas, sobre las cuales se apoye el back-up de la máquina.

Por otro lado las averías o paradas menos frecuentes han sido:

- Limpieza de los cangilones del cabezal de excavación.
- Fallos en el funcionamiento del sistema PPS.

- Fallo eléctrico en los motores del cabezal de corte.

Podemos ya por tanto, en base a los datos disponibles, pasar a comprobar si el modelo desarrollado se ajusta o no a la realidad del caso, para ello se muestra a continuación la hoja resumen resultante de la simulación.

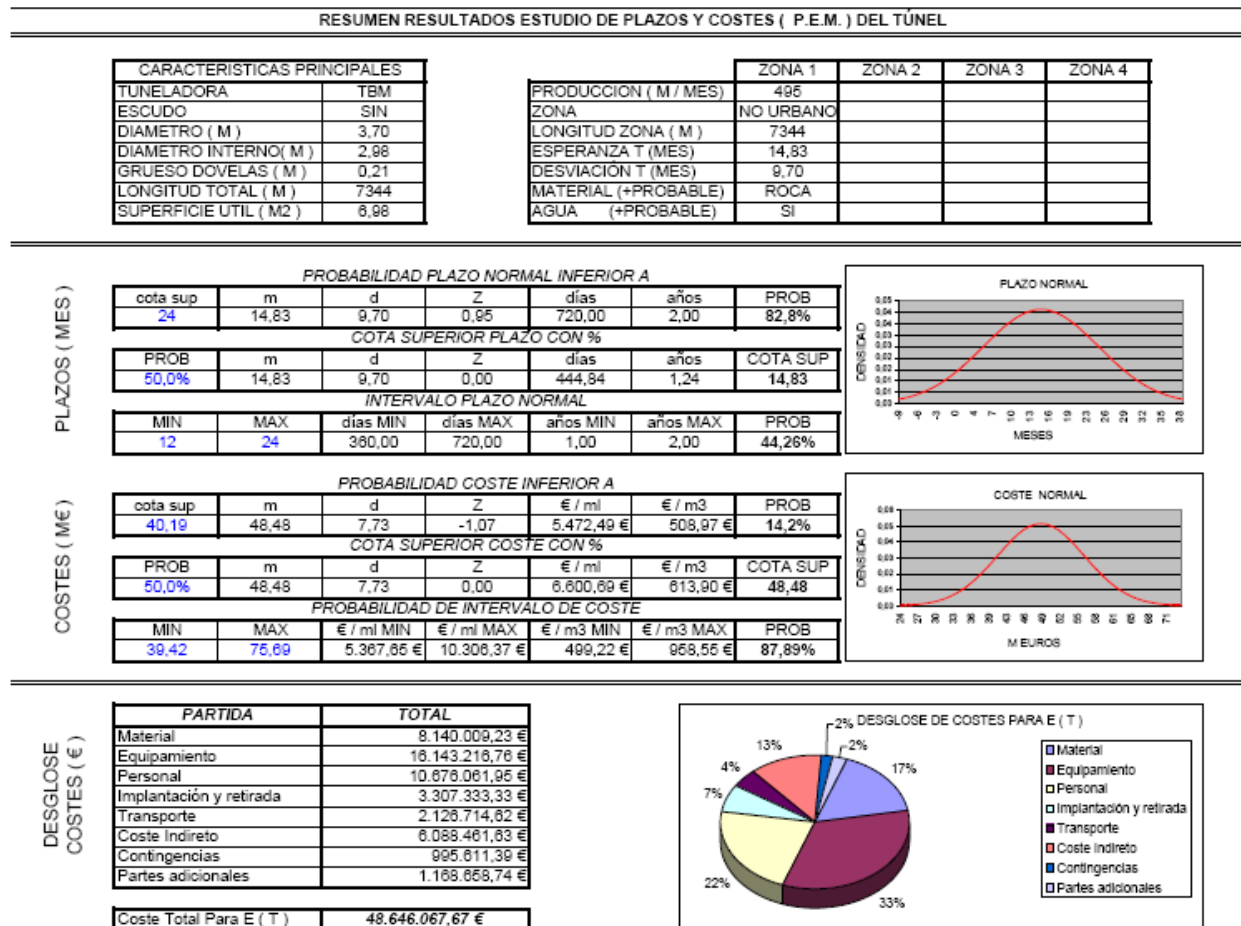


Tabla 13.- Resumen de datos y resultados para el caso de estudio.

La primera comprobación a realizar será evidentemente la del coste. El presupuesto previsto en el proyecto, 40,19 millones de euros tiene una probabilidad del 14,2% según la normal del coste resultante. La esperanza del coste resulta ser de 48,48 millones de euros lo que supone un incremento del 20% respecto la dada por el proyecto. Podemos afirmar pues que se trata de una buen estimación, más aún considerado que será normal que en obra se incremente el coste de proyecto tanto por los por los imprevistos ya enunciados así como por la presión que ejerza la contrata para conseguir un modificado (20%).

En lo relativo al plazo no tenemos los datos de la estimación de proyecto pero sí podemos realizar algunas hipótesis. En los 6 primeros meses se ha alcanzado un rendimiento de 171 m/mes, dándose múltiples problemas, que parecen haberse superado teniendo en cuenta el rendimiento del último mes. Suponiendo que puede mantenerse constante este último rendimiento hasta el final de la excavación, el plazo de ejecución se situaría en torno a los 24 meses, cifra que corresponde a un 82,8 % de probabilidad según la normal del tiempo resultante. La repercusión en coste de este

plazo de ejecución nos lleva a una previsión de 55,8 millones de euros que resulta en un incremento del 38%.

Por último, una observación relativa a la distribución resultante del coste. Tomando un intervalo de confianza del 90% la cota inferior se sitúa en torno a los 39 millones de euros, muy cercano al presupuesto de proyecto como ya se ha visto, mientras que la cota superior queda fijada en torno a los 75 millones de euros lo que nos lleva a pensar que si bien la previsión inicial es válida lo más probable es que el coste se incremente notablemente sobre lo inicialmente previsto, como parece que de hecho está sucediendo. Podemos afirmar por tanto, que para este primer caso de estudio, el modelo parece comportarse de forma válida.

9.2. AMPLIACIÓN DE LA LÍNEA DE F.G.C. EN LA LOCALIDAD DE TERRASSA

El proyecto de ampliación de la línea de F.G.C. en la localidad de Terrassa, ha sido recientemente adjudicado, con una baja del 27% sobre el presupuesto de licitación y ya se encuentra en proceso de ejecución. Se trata de un túnel urbano, de dos tubos cuya longitud total es de 6315 metros. El terreno es principalmente clasificable como suelo y en la zonificación de proyecto podemos distinguir dos zonas con probabilidades de encontrar terreno de tipo mixto de 10% en el primer caso y de 25% en el segundo. Podemos afirmar que habrá agua en toda la traza. El diámetro necesario para la función a la que está destinada será de 6 metros y, calculado un sostenimiento de dovelas (30 cm.) y un gap (15 m.), el diámetro interno libre será efectivamente de 6 m. con lo que el diámetro de excavación necesario será de 6,9 m. La tuneladora prevista para la ejecución es una EPB con escudo simple. De las características definitorias del proyecto indicar que está prevista la implantación de una fábrica de dovelas.

En cuanto al coste previsto⁸, el proyecto estima, para excavación y sostenimiento un total de 62,2 millones de euros. El plazo de ejecución queda fijado en 790 días, o lo que es lo mismo, 26,33 meses. Consideraremos como hipótesis, que la baja realizada por la constructora del 27%, se reparte uniformemente entre todas las partidas y que por tanto el límite del presupuesto será aproximadamente 49 millones de euros. Si tenemos en cuenta además que las constructoras que forman la UTE lucharán por conseguir un modificado que incremente el presupuesto del 20% además del 10% de liquidación final, y suponiendo que lo consigan, el presupuesto máximo que disponen como límite será de 63,7 millones de euros. Esta será la cota que consideraremos en el estudio de riesgos tomados por la UTE responsable de la ejecución del túnel.

Introduciendo estos datos en el modelo generado, cuya hoja resumen para este caso se adjunta en este apartado, podremos obtener la estimación resultante y realizar así el análisis.

Primeramente destacar que las medias del plazo y coste obtenidas se ajustan de manera satisfactoria a los intervalos resultantes del modelo, estando, eso sí en la cola de las funciones normales. Los valores en cuestión son los siguientes:

- Esperanza del Coste → 70,71 M€

⁸ P.E.M. Presupuesto de ejecución material.

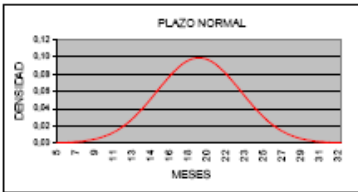
- Esperanza del Plazo → 19,04 Meses

El coste, por tanto, es superior al previsto en el proyecto en un 13,68%, mientras que respecto al máximo de que dispondrá la UTE con las hipótesis consideradas será mayor en un 11%. La primera consideración a realizar al respecto es que el modelo parece dar resultados no solo coherentes, sino ajustados a la realidad, aún partiendo de datos tan sencillos. En segundo lugar, destacar que a priori, la baja en la oferta presentada por la UTE constructora parece excesiva por lo que parece nos encontraremos de nuevo ante un caso en que se excederá el límite presupuestario previsto de manera considerable. La baja óptima, en caso de conseguir el 20% extra de presupuesto y el 10% de liquidación, y considerando un beneficio del 3% final, debería haber sido del 17,8%, utilizando la media dada por el modelo para acotar el riesgo pero calculado sobre el dato de coste del proyecto. Este valor se corresponde con 52,76 M€.

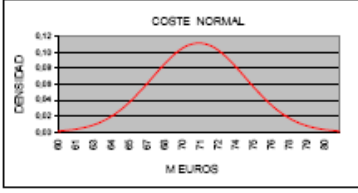
Con el plazo no obstante el resultado del modelo ofrece una estimación cuya media es un 27,69 % menor a la prevista. No obstante, desde el punto de vista del proyectista, parece una buena aproximación pues es próximo al percentil 95% de la función normal del plazo resultante y así se tendrán en cuenta posibles eventos extraordinarios que afecten el rendimiento de la obra.

RESUMEN RESULTADOS ESTUDIO DE PLAZOS Y COSTES (P.E.M.) DEL TÚNEL								
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES								
TUNELADORA	EPB			PRODUCCION (M / MES)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4
ESCUDO	SIMPLE			ZONA	URBANO	URBANO		
DIAMETRO (M)	8,90			LONGITUD ZONA (M)	3042	3273		
DIAMETRO INTERNO(M)	6,01			ESPERANZA T (MES)	9,18	9,85		
GRUESO DOVELAS (M)	0,30			DESVIACION T (MES)	2,75	2,94		
LONGITUD TOTAL (M)	6315			MATERIAL (+PROBABLE)	SUELO	SUELO		
SUPERFICIE UTIL (M2)	28,38			AGUA (+PROBABLE)	SI	SI		

PLAZOS (MES)	PROBABILIDAD PLAZO NORMAL INFERIOR A						
	cota sup	m	d	Z	días	años	PROB
	26,3	19,04	4,03	1,80	789,00	2,19	96,4%
	COTA SUPERIOR PLAZO CON %						
PROB	m	d	Z	días	años	COTA SUP	
50,0%	19,04	4,03	0,00	571,13	1,59	19,04	
INTERVALO PLAZO NORMAL							
MIN	MAX	días MIN	días MAX	años MIN	años MAX	PROB	
12,41	26	372,30	789,80	1,03	2,14	90,01%	



COSTES (M€)	PROBABILIDAD COSTE INFERIOR A						
	cota sup	m	d	Z	€ / ml	€ / m3	PROB
	63,7	70,71	3,57	-1,96	10.097,09 €	269,76 €	2,5%
	COTA SUPERIOR COSTE CON %						
PROB	m	d	Z	€ / ml	€ / m3	COTA SUP	
50,0%	70,71	3,57	0,00	11.196,72 €	299,44 €	70,71	
PROBABILIDAD DE INTERVALO DE COSTE							
MIN	MAX	€ / ml MIN	€ / ml MAX	€ / m3 MIN	€ / m3 MAX	PROB	
64,9	76,62	10.277,12 €	12.133,02 €	274,84 €	324,47 €	89,94%	



DESGLOSE COSTES (€)	PARTIDA	TOTAL
	Material	18.674.240,85 €
	Equipamiento	18.097.033,54 €
	Personal	13.707.091,50 €
	Implantación y retirada	3.307.333,33 €
	Transporte	3.968.532,30 €
	Coste Indirecto	7.983.366,22 €
	Contingencias	1.598.533,04 €
Partes adicionales	3.494.808,49 €	
Coste Total Para E (T)	70.828.927,27 €	

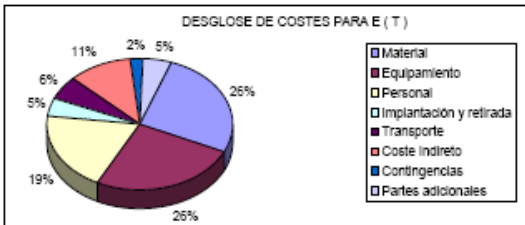


Tabla 14.- Resumen de datos y resultados para el caso de estudio.

De los otros resultados obtenidos merece una mención la estimación del sostenimiento, que es exacta a la dada en el proyecto, otra muestra de que la simulación es válida. Asimismo destacar que el desglose de costes dado, según las partidas propuestas por

la I.T.A. para el caso de túnel de metro urbano con terreno a excavar clasificable como suelo, presenta una distribución porcentual prácticamente idéntica, otro motivo de satisfacción y que, junto a todo lo mostrado, hace confiar en la validez del modelo desarrollado en esta tesina.

Por último, una observación relativa a la distribución resultante del coste que ya se hizo en el caso de estudio anterior. Nuevamente si tomamos un intervalo de confianza del 90% la cota inferior se sitúa en torno a los 65 millones de euros, muy cercano al presupuesto de proyecto como ya se ha visto, aunque no tan justo como en el caso anterior, mientras que la cota superior queda fijada en torno a los 77 millones de euros lo que nos lleva a pensar que si bien la previsión inicial es válida lo más probable es que el coste se incremente sobre lo inicialmente previsto, el modelo parece pues mostrar una realidad, la que impulsó este estudio y que no es otra que el hecho de que se excedan normalmente los presupuestos de obras subterráneas.

9.3. TÚNEL DE PERTÚS

En la actualidad, el intercambio de mercancías por la frontera de Port Bou se mueve en torno al cinco por ciento del total de tráfico. Los servicios de viajeros se circunscriben a 16 trenes diarios de cercanías por sentido en el lado español y 13 diarios por sentido en el lado francés. El transbordo se hace en Cèrbere o Port Bou, de modo que el viajero tiene que recorrer el trayecto de una estación a otra. Para asegurar el enlace a ambos lados, se ha previsto un desfase de una hora y media entre trenes, con lo que ello supone en términos de espera. Para subsanar esta situación, en 1989, se creó una Agrupación Europea de Interés Económico (AEIE), participada por Renfe y SNCF, con el objetivo de estudiar la construcción de un enlace de alta velocidad entre Figueras y Perpiñán.

La línea, de tráfico mixto, es decir, para pasajeros y mercancías, será apta para una velocidad máxima de 350 km/h, siendo la velocidad mínima de los trenes de mercancías de 100 km/h. La línea tendrá unos 44,4 kilómetros. De ellos, 8,3 forman parte del túnel de Pertús (7,3 kilómetros en Francia y 1 kilómetro en España). El hecho de constituir una línea de tráfico mixto ha sido una de las dificultades del proyecto, pues deben coexistir composiciones con distintas velocidades de circulación, con lo que ello representa para el diseño de la línea y su seguridad, más exigente al existir la posibilidad de que circulen mercancías peligrosas.

En total, existe un plazo de 60 meses para la ejecución del proyecto, que incluye su construcción, ensayos y pruebas y trámites de homologación. Si todo transcurre según lo previsto, la línea se inauguraría en febrero de 2009, cinco años después de la firma del contrato. No se dispone no obstante del tiempo previsto exclusivamente para la excavación del túnel.

El proyecto, incluida la construcción, el desarrollo y los costes financieros, tendrá un coste de 1.125 millones, de euros de los cuales 301 millones⁹ se destinarán a la construcción del túnel de Le Pertús. Del total, 102,8 millones de euros corresponden a recursos aportados por los accionistas de TP Ferro; 575 millones, a los aportados por los Estados español y francés; y, el resto, corresponde a financiación externa bancaria.

⁹ P.E.M. Presupuesto de ejecución material.

El proyecto contará, además con financiación europea, nunca inferior al 10 por ciento, incluida la aportación de los Estados.

El túnel de Pertús, que constará de dos tubos independientes, uno para cada sentido de circulación, contará con los últimos avances en materia de seguridad. Su construcción, que comenzará por el lado español, se realizará mediante dos tuneladoras de doble escudo encargadas a la empresa alemana Herrenknecht (S-286 model TBM). Las características principales de la tuneladora son:

- Diámetro de excavación: 9.96 m.
- Diámetro de cortadores: 17 “
- Número de cortadores: 64.
- Carga máxima por cortador: 267 kN.
- Potencia Cabeza: 4,900 kW.
- Velocidad Cabeza: 0-5.5 rpm.
- Potencia del circuito hidráulico: 350 bar.
- Máxima potencia del circuito hidráulico: 500 bar.
- Potencia de transformadores: 8,900 kVA.
- Voltaje primario: 20.00 V.
- Voltaje secundario: 660-380 V.
- Frecuencia: 50 Hz.
- Peso aproximado de la TBM: 2,400 Tn.

Se ha previsto la construcción de una galería de acceso intermedio en su parte central para reconocimiento y tratamiento del terreno en la zona geotécnicamente más complicada. Uno de los aspectos más destacados es la existencia de galerías de comunicación entre túneles cada 200 metros (lo normal suele ser cada 400 o 250 metros), por lo que este túnel puede considerarse vanguardista en materia de seguridad. Estas galerías, 41 en total, tienen un ancho de 2,8 metros y una altura de 2,2 m. Otras medidas de seguridad, incluyen la instalación de vía en placa de hormigón, lo que permite un fácil acceso a los servicios de auxilio y la instalación de detectores de “cajas calientes” y de planos en las ruedas (debido al frenado, las ruedas tienden a adquirir forma plana, lo que deteriora la vía), control de gálibos y pantógrafos, que permiten detener a los trenes antes de entrar en el túnel. Existen asimismo sistemas antiintrusión en las embocaduras de los túneles, que mediante unas barreras de infrarrojos, detectan la entrada al túnel de personas no autorizadas o animales.

Pasamos nuevamente a introducir los datos de este último caso de estudio en el modelo para comprobar su validez. Hay que tener en cuenta que este es un caso con condicionantes distintos a los considerados en el desarrollo de la simulación pues se trata de un túnel doble en el que se utilizarán simultáneamente dos tuneladoras. Es por ello que para el análisis se dividirá el coste previsto entre dos y se entrarán los datos como si de un solo túnel se tratase. A continuación se muestra la hoja resumen.

RESUMEN RESULTADOS ESTUDIO DE PLAZOS Y COSTES (P.E.M.) DEL TUNEL							
CARACTERISTICAS PRINCIPALES							
TUNELADORA	TBM			PRODUCCION (M / MES)	321		
ESCUDO	DOBLE			ZONA	NO URBANO		
DIAMETRO (M)	9,96			LONGITUD ZONA (M)	8300		
DIAMETRO INTERNO(M)	8,87			ESPERANZA T (MES)	25,88		
GRUESO DOVELAS (M)	0,40			DESVIACION T (MES)	5,83		
LONGITUD TOTAL (M)	8300			MATERIAL (+PROBABLE)	ROCA		
SUPERFICIE UTIL (M2)	61,76			AGUA (+PROBABLE)	SI		
				ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4

PLAZOS (MES)	PROBABILIDAD PLAZO NORMAL INFERIOR A						
	cota sup	m	d	Z	días	años	PROB
	10	25,88	5,83	-2,82	300,00	0,83	0,2%
	COTA SUPERIOR PLAZO CON %						
PROB	m	d	Z	días	años	COTA SUP	
50,0%	25,88	5,83	0,00	776,52	2,18	25,88	
INTERVALO PLAZO NORMAL							
MIN	MAX	días MIN	días MAX	años MIN	años MAX	PROB	
16,62	35	498,60	1054,50	1,39	2,93	90,00%	

PLAZO NORMAL

COSTES (M€)	PROBABILIDAD COSTE INFERIOR A						
	cota sup	m	d	Z	€/ ml	€/ m3	PROB
	150	133,61	5,44	3,01	18.072,29 €	231,96 €	99,9%
	COTA SUPERIOR COSTE CON %						
PROB	m	d	Z	€/ ml	€/ m3	COTA SUP	
50,0%	133,61	5,44	0,00	16.097,43 €	206,61 €	133,61	
PROBABILIDAD DE INTERVALO DE COSTE							
MIN	MAX	€/ ml MIN	€/ ml MAX	€/ m3 MIN	€/ m3 MAX	PROB	
124,6	142,48	15.012,06 €	17.166,27 €	192,68 €	220,33 €	89,95%	

COSTE NORMAL

DESGLASE COSTES (€)	PARTIDA		TOTAL	
	Material		47.264.923,12 €	
	Equipamiento		30.197.495,91 €	
	Personal		18.636.562,09 €	
	Implantación y retirada		3.307.333,33 €	
	Transporte		9.530.477,00 €	
	Coste Indirecto		12.148.782,31 €	
	Contingencias		3.028.965,52 €	
	Partes adicionales		9.570.802,76 €	
	Coste Total Para E (T)		133.685.332,04 €	

DESGLASE DE COSTES PARA E (T)

Tabla 15.- Resumen de datos y resultados para el caso de estudio.

Empezaremos como hasta ahora por analizar el resultado de la estimación de costes. La primera lectura es que en este caso la previsión queda por debajo de lo presupuestado, en concreto la esperanza del coste se sitúa en 133,61 millones de euros lo que supone un 11,22 % menos. Esta diferencia puede deberse a dos motivos, por un lado, en el modelo no se contempla el coste de las galerías de comunicación, siendo ésta una vía de desarrollo para el futuro, y por otro la financiación de la obra se lleva a cabo mediante una concesión lo que lleva sin duda a los participantes a incrementar la estimación de los costes. En todo caso la aproximación al coste resultante parece suficientemente buena.

En cuanto al plazo de ejecución, si bien no se dispone de este dato para la excavación, podemos hacer algunas hipótesis para poder valorar el resultado obtenido. Sabiendo que la obra tiene un plazo total de ejecución de 5 años, que tras realizar un pedido de tuneladora, ésta tarda aproximadamente 1 año en llegar, y que además una vez realizada la excavación se deberán ejecutar gran número de instalaciones como pueden ser la catenaria además de las ya descritas, podemos restarle 2 años a este periodo quedando en 36 meses el plazo de ejecución según estas consideraciones. Pues bien, el modelo nos da 25,88 meses como media y justamente 35 meses como cota superior con probabilidad del 90%, otra buen estimación por tanto, que parece indicar que el modelo se comporta de manera satisfactoria a pesar de que sería conveniente realizar más comprobaciones, y disponiendo de más datos, para validarlo definitivamente.