

CONCLUSIONES

Recordemos primeramente cual era el objetivo que se pretendía cumplir al inicio de este estudio. Éste no es otro que el aportar una herramienta sencilla y de rápida aplicación que ayude en la toma de decisiones en el diseño de túneles desarrollando un modelo para la valoración tanto del tiempo como del coste de construcción. Pues bien, la primera conclusión, tal como se ha demostrado en los últimos apartados, es que se ha logrado dicho objetivo. Merece la pena subrayar que los casos de estudio están constituidos por condicionantes externos distintos, siendo los diámetros, tuneladoras, escudos, zona o materiales de excavación diferentes para cada obra lo que da un plus de solidez al modelo creado.

Cabe destacar que si bien harían falta un mayor número de casos de estudio para dar una validez definitiva a la simulación, sí parece cuanto menos que se ha establecido una base para dicho objetivo, que requerirá eso sí, de una mayor profundización en el futuro. Se muestran a continuación dos tablas que resumen los resultados obtenidos para cada caso de estudio, la primera de ellas resulta del estudio de costes mientras que la segunda del plazo.

COSTE				
Caso	Coste Previsto	Esperanza del Coste	Δ %	Intervalo del 90%
Emisario Terrestre	40,19	48,48	20,63%	[39.42,75.69]
Ampliación FGC	62,2	70,71	13,68%	[64.9,76.62]
Pertús	150,5	133,61	11,22%	[124.6,142.48]

Tabla 16.- Resumen costes resultantes del modelo.

PLAZO				
Caso	Plazo Previsto	Esperanza del Plazo	Δ %	Intervalo del 90%
Emisario Terrestre	24	14,83	38,21%	[12,24]
Ampliación FGC	26,33	19,04	27,69%	[12.41,26]
Pertús	36	25,88	28,11%	[16.62,35]

Tabla 17.- Resumen plazos resultantes del modelo.

Este modelo basado en la Simulación de Monte Carlo permite manejar gran número de variables desconocidas en expresiones que contienen sumas de productos como es el caso que nos ocupa y manejar la incertidumbre inherente en este campo de conocimiento. La simulación ha sido desarrollada mediante una hoja de cálculo en la que se introducen también los datos de costes y rendimientos encontrados que de manera rápida y sencilla dará como resultado no sólo valores de coste y plazo en forma de distribuciones normales, sino además permitirá estudios probabilísticos de estas variables. Debemos resaltar el hecho de que los parámetros necesarios sean tan básicos que no haga falta mucha información a priori, como sucede por ejemplo con las costosas campañas geotécnicas, que por otra parte son del todo imprescindibles, aunque en estados más avanzados del proyecto. Es por tanto una herramienta útil, más aun si tenemos en cuenta que los costes pueden cambiarse por el contratista, para el estudio de un caso concreto y se eliminaría así gran parte de la incertidumbre. La relación de los parámetros necesarios para el buen funcionamiento del modelo se expone a continuación:

- Ubicación de la obra o tipo de zona.

- Diámetro.
- Longitud.
- Material a excavar.
- Presencia de Agua.
- Tipo de Tuneladora.
- Tipo de Escudo.
- Distancia de transporte de la tuneladora.
- Disponibilidad de fábrica de dovelas.
- Año de ejecución del túnel.
- Inflación Media anual prevista hasta el año de ejecución.

El anterior listado se obtiene en parte gracias al estudio de variables realizado en este documento, e incluye aquellas que mejor definen el rendimiento medio mensual. Se han obtenido además gráficas que nos muestran su comportamiento al variar los parámetros definitorios. Estas variables han resultado ser: Diámetro, emplazamiento, tipo de material a excavar, la presencia o no de agua, el tipo de tuneladora y finalmente su escudo. Otros resultados, útiles de cara al cálculo de algunas partidas en el presupuesto esperado de un túnel nos han llevado, partiendo del diámetro de la máquina como dato básico, a la determinación de forma aproximada, como se ha podido comprobar, de la potencia total necesaria para el funcionamiento de la misma, el peso y el grueso de las dovelas.

No obstante, existen algunas consideraciones a tener en cuenta. Por un lado, el éxito de la estimación depende de los datos introducidos relativos a los rendimientos y costes. Si mejorásemos la base de datos, aportándole nuevos datos se acotaría el error y la incertidumbre permitiendo no solo reducir la desviación de las normales resultante sino además añadir nuevos casos en que sea posible aplicar el modelo. Por otro lado, y de nuevo enfocando en la misma dirección, los datos de costes introducidos en la simulación pueden presentar problemas para los casos de menor diámetro, rondando los 3 metros, pues tanto la maquinaria como los costes fijos no se adaptan del todo bien a estas condiciones. Queda por tanto, abierta la vía a futuras mejoras en la dirección indicada y en este sentido destacar que una posible forma sea empleando una base de datos de la que se tiene conocimiento a través del técnico de la casa fabricante de tuneladoras LOVAT, creada por la Universidad de Tejas, Austin, en la que se disponen de datos correspondientes a 630 obras en que se han empleado tuneladoras.

Añadir además una futura vía de estudio de cara a mejorar la simulación que aquí se presenta que no es otra que la de incluir en el modelo un análisis de riesgos. Dicho análisis, en función de las condiciones de contorno y del método de excavación, debería añadir un cierto coste y plazo al resultado normal. Consistiría básicamente en el estudio de sucesos negativos genéricos e independientes en una obra subterránea, asociándoles una probabilidad de que suceda además de una repercusión en plazo y coste.

Por último, recomendar vivamente una consulta pausada de la documentación presente en los anejos. Éstos incluyen descripciones de algunas de las obras que han permitido generar las fichas de la base de datos, y por tanto conocimiento de casos reales que pueden resultar de ayuda ante un problema concreto, las propias fichas, con obras de las que se dispone de menos información, los gráficos extraídos del estudio de los parámetros de dicha base de datos, interesantes en cuanto permiten conocer el comportamiento de la obra al variar sus parámetros, los correos electrónicos con las respuestas de las casas fabricantes de tuneladoras, que aportan datos de primera mano de gran interés y, por último, el modelo en sí mismo, aunque para conocer éste será mejor emplear la hoja de cálculo que se adjunta en formato digital.