

Se ha detallado de forma precisa la metodología que nos ha llevado a este resultado final. Es ahora el momento de precisar de forma clara qué datos debemos introducir en la hoja de cálculo que realizará la simulación, éstos se enumeran 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.

Existen además varias variables auxiliares que si bien no son necesarias para el funcionamiento de la simulación se incluyen para tener en cuenta factores que pueden resultar interesantes en cuanto a la información que proporcionan para el que la maneja como son:

- Factor de rendimiento de la tuneladora.
- Pérdida de máquina.
- Cotas inferiores y superiores así como probabilidades para el estudio estadístico.

8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MODELO

8.1. INTRODUCCIÓN

Hasta aquí se ha planteado un modelo en el que han sido necesarios múltiples datos obtenidos con mayor o menor precisión, además de haber realizado hipótesis y simplificaciones inevitables por otra parte al enfrentarse a un problema de tantas variables.

Resta ahora pues, realizar una serie de comprobaciones que nos deberán confirmar si la metodología general ha sido la correcta y poder así validar el modelo desarrollado en base a resultados sólidos. En el caso de que los resultados muestren incongruencias será preciso un estudio de las causas además de sus implicaciones.

Para ello utilizaremos en este apartado resultados de la base de datos con la que se sustenta el modelo. Es importante recordar que si bien se analizaron tanto la relación

de los parámetros con el coste y rendimientos, fueron sólo estos últimos los que se introdujeron en programa, y por tanto, puede ser interesante comprobar si las mismas relaciones encontradas relativas al coste se repiten ahora al utilizar el modelo.

8.2. RELACIÓN COSTE – DIÁMETRO

El diámetro es, como se ha demostrado en este estudio, uno de los parámetros más determinantes en la determinación del coste de un túnel. Según se desprende de la base de datos, al incrementar el diámetro el coste debe crecer de forma exponencial.

Se presenta una gráfica a continuación en la que se plasman resultados del modelo para 4 casos diferentes en los que se varía el diámetro entre 1 y 15 metros para cada uno de los casos.

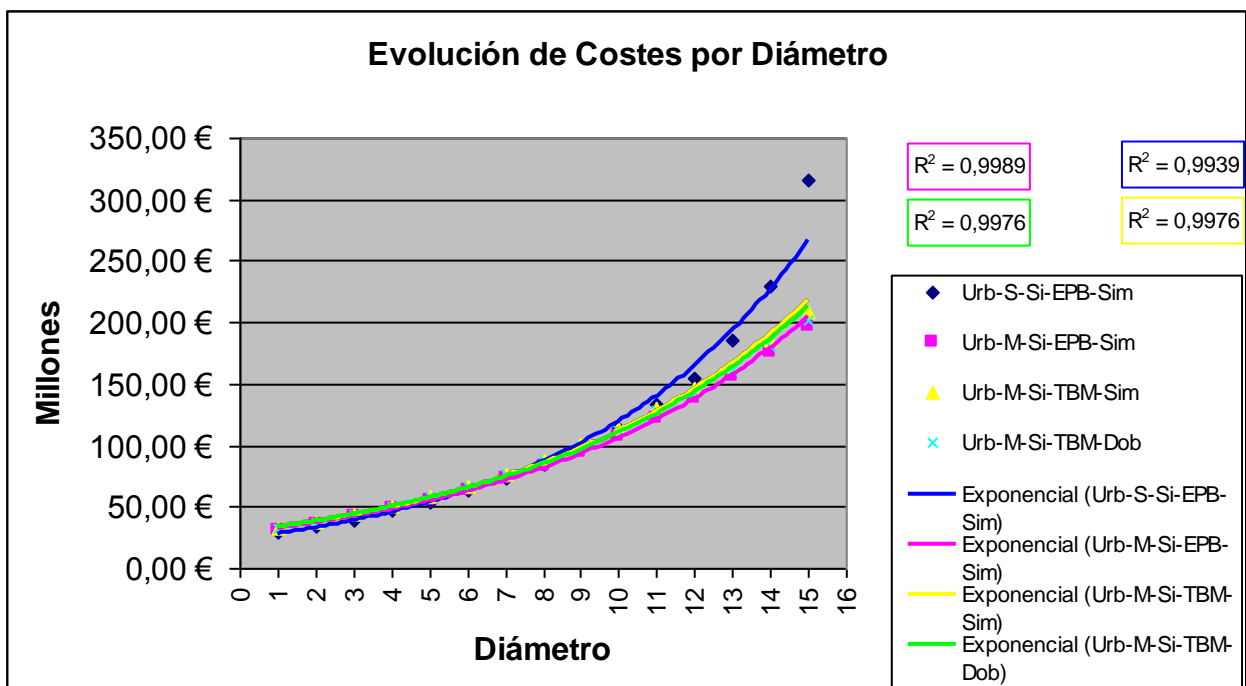


Fig. 30. Evolución de Costes por el diámetro.

Se desprende en un primer lugar, con claridad, como efectivamente la evolución del coste sigue una pauta exponencial. Podemos afirmar pues no sólo que el modelo parece comportarse de forma coherente, sino además que los datos de costes, que no fueron utilizados en este estudio por presentar dudas acerca de su dispersión, pueden ser objeto de un estudio futuro en busca de nuevas aplicaciones.

Cabe destacar a su vez otra observación interesante, como se apuntaba en apartados anteriores, según la afirmación de expertos consultados, es a partir de diámetros comprendidos entre los 6 ó 7 metros que se daba un salto en dificultad técnica y por tanto en coste en cualquier obra subterránea. Nótese que esta singularidad también se da como resultado del modelo, incrementándose de manera más notable el coste a partir de este punto. De la misma manera, podemos afirmar, que los resultados para diámetros extremos, ya sea en la franja inferior como en la superior tendrán una menor precisión.

8.3. RELACIÓN COSTE – LONGITUD TOTAL

Siguiendo la metodología del apartado anterior, analizamos ahora la evolución del coste en el caso de variar la longitud mientras permanecen constantes el resto de parámetros definitorios de la obra. Ésta, debería ser nuevamente exponencial según se desprendería de la base de datos de casos reales. Se presenta a continuación la gráfica obtenida del modelo para el estudio de la veracidad de esta afirmación.

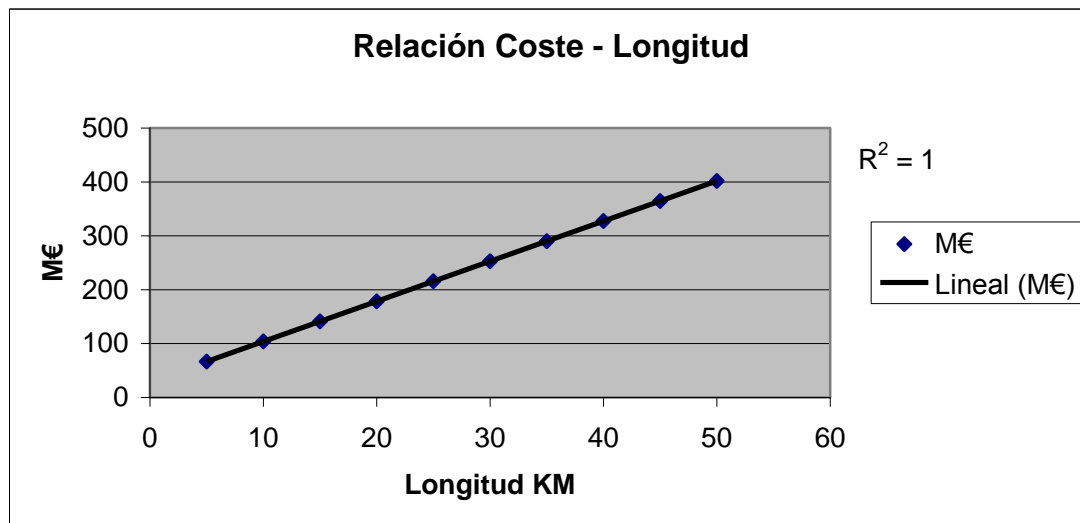


Fig. 31. Evolución de Costes según la Longitud.

En este caso no se cumplen las expectativas previstas, apareciendo una evolución lineal con la variación de la longitud. El análisis de los motivos que llevan a esta incongruencia se presenta en varios frentes. Por un lado tenemos que los valores de coste de la población en este campo presentan desviaciones considerables. Por otro, y tal como ya se apuntaba en su primer análisis, los riesgos asociados a una obra subterránea son elevados y por tanto no resulta extraño que a mayor longitud, mayor sea la probabilidad de un suceso con impacto económico negativo.

Si bien en los rendimientos considerados en el modelo se contemplan ciertos riesgos al estar basados en casos reales, éstos no incluyen sucesos realmente extraordinarios y sería conveniente completar el modelo desarrollado aquí con un estudio de riesgos y sus consecuencias económicas, quedando este aspecto como punto de partida para futuras mejoras.

Finalmente, existe un factor que sí daría validez parcial al resultado obtenido. Este vendría justificado por el hecho que la relación exponencial obtenida de la base de datos está sustentada en un conjunto de obras mientras que la gráfica que aquí se muestra resultado del modelo hace referencia a una sola.

Podemos pensar que si no hubiese sucesos extraordinarios, el comportamiento en función de la longitud sí sería lineal, ajustándose de manera correcta a la realidad pues, como ya se ha comentado, en los rendimientos sí que se incluyen las consecuencias de distintos elementos distorsionados, al estar basados en casos reales, y por ello su influencia negativa queda repartida en el conjunto de la longitud pues se trabaja con rendimientos medios mensuales.

8.4. COMPARATIVA COSTES MODELO – DESGLOSE I.T.A.

Basándonos en un documento proveniente de una exposición de la I.T.A. realizada por su vicepresidente (Dr. Harald Wagner, 2006), en que se presenta una típica distribución de costes en forma de gráfica para un túnel de metro en zona urbana y terreno tipo suelo, realizaremos una nueva comprobación del modelo.

Primeramente introduciremos en el modelo los datos necesarios para la comprobación según se muestra en la siguiente tabla basados en valores usuales para la obra a la que quieren definir.

ZONA	URBANO
DIAMETRO	7
LONGITUD TOTAL	6500
COBERTURA	80
MATERIAL	SUELO
AGUA	SI
TUNELADORA	EPB
ESCUDO	SIMPLE

Tabla 10.- Datos introducidos en el modelo

A los datos anteriores debemos añadir el que se ha considerado que no existe la posibilidad de acceder de forma económica a una fábrica de dovelas y que por tanto debemos crear una nueva. En cuanto a la distancia de transporte de la tuneladora de fábrica a obra se ha estimado en 3000 km. Además se ha supuesto un factor de rendimiento del 100%, o lo que es lo mismo, que no hay factores adicionales que puedan hacernos considerar una reducción del rendimiento obtenido en el modelo y, por último, que los costes considerados son referentes al año 2007.

En la documentación presentada por la I.T.A. se desglosa el coste total en partidas más generales a las que se utilizan en el modelo que aquí tratamos. Es por ello que debemos unificarlas de forma que se adapten a las que queremos comparar. La forma en que se han agrupado los costes se muestra en la tabla siguiente.

PARTIDA ITA	Qué costes se incluyen del modelo
Material	Sostenimiento + Inyección Gap
Equipamiento	Instalaciones+Mantenimiento+Tuneladora+Maquinaria Auxiliar
Personal	Oficina/Instalaciones+Personal
Implantación y retirada	Implantación y retirada
Transporte	Vertedero Tierras+Transporte maquinaria
Coste Indireto	Energéticos+Seguro+Montaje Maquinaria+Mejoras Organización+[Fábrica Dovelas]
Contingencias	Tratamientos del terreno+Costes Penalización retraso
Partes adicionales	Consumo Picas/Discos Cortadores

Tabla 11.- Transformación de partidas consideradas en el modelo para adaptarlas a las consideradas por la I.T.A.

Llegados a este punto tan solo resta comparar los resultados. Se muestran dos gráficos a continuación. El primero de ellos, de la I.T.A., mientras que el segundo es el resultado que da nuestro modelo para los datos introducidos y agrupados de la forma en que se ha expuesto.

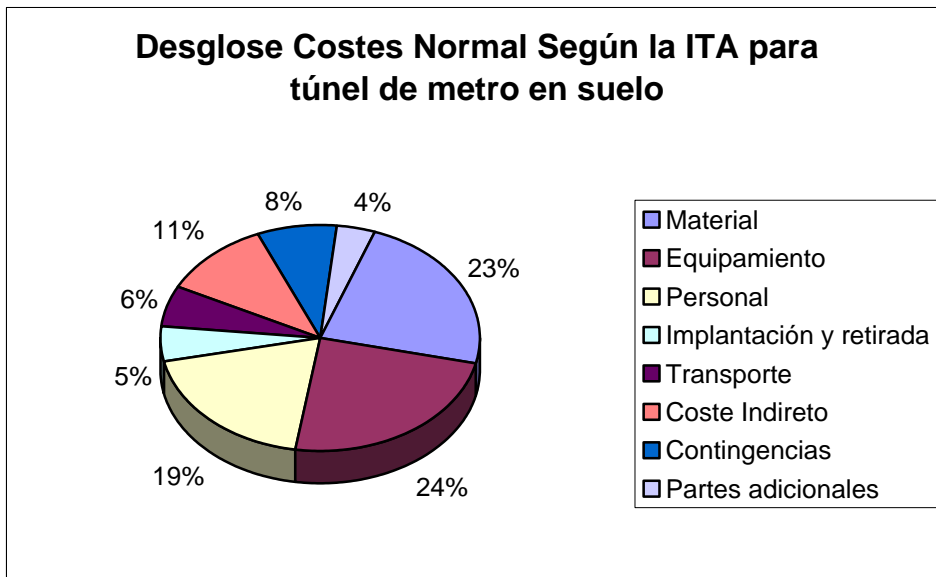


Fig. 32. Desglose Costes Normal según la ITA para túnel de metro en suelo.

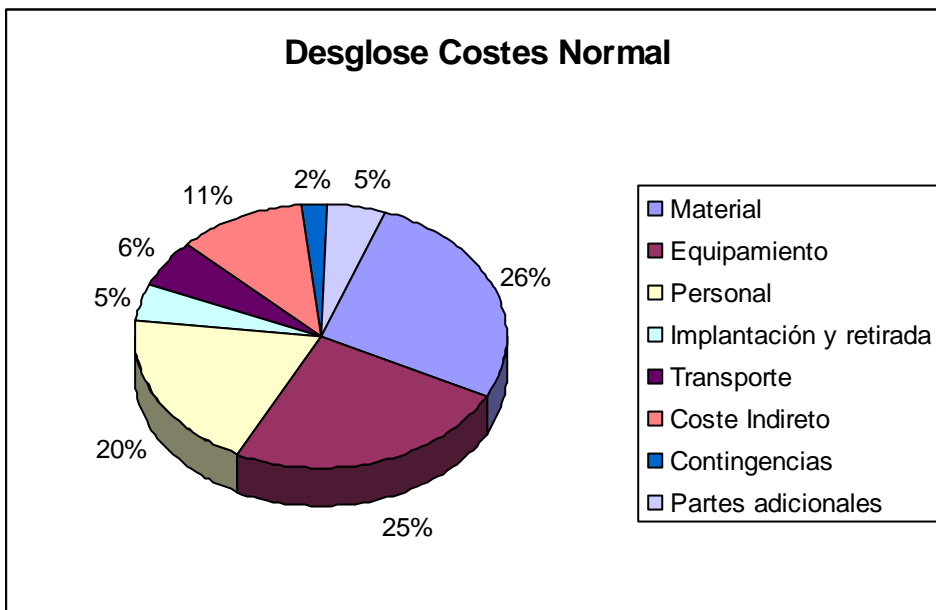


Fig. 33. Desglose de Costes Normal para los datos introducidos.

Podemos comprobar con satisfacción la gran precisión con que se ajustan ambas. A excepción de la partida correspondiente a contingencias, que en el modelo resulta más reducida al estar incluidas de forma más indirecta en el coste de personal, equipamiento y material, vemos como el resto dan exactamente el mismo valor o se aproximan con una precisión extraordinaria.

Podríamos solucionar esta pequeña diferencia añadiendo una partida del 8 % como suele ocurrir en este tipo de obras para cubrir imprevistos, aquí no lo hacemos puesto que el objetivo es aproximarse al coste real y por tanto debemos tener previstas cualquier contingencia.

De esta forma se puede afirmar la solidez no solo del funcionamiento del modelo en si mismo sino también de los datos de costes y rendimientos introducidos en él.