

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El objetivo de esta tesina es 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. La sociedad exige cada vez más infraestructuras y con menor impacto ambiental. Si a ello le sumamos una ocupación del territorio muy dispersa, tenemos como resultado un incremento notable de la demanda de obras subterráneas al carecer de alternativas viables en superficie. Considerando a su vez el aumento notable de ejecución de líneas de metro resulta, como se viene demostrando en los últimos años, en un aumento muy significativo en la ejecución de obras subterráneas.

La experiencia nos muestra, por desgracia, que el plazo y los costes de ejecución de túneles se exceden a menudo. Esto se debe a la confluencia de varios intereses, incluyendo políticos, que pueden conducir generalmente a adoptar una base inadecuada en la toma de decisiones del proyecto. Cabe destacar que los factores que modifican o subestiman valoraciones del tiempo y coste pueden, a veces, ser la única manera de conseguir que un proyecto salga adelante.

Otra razón por la que el tiempo y coste se exceden en los proyectos del túnel es que son muy sensibles a las perturbaciones. Esta afirmación se sustenta en que el proceso de ejecución de un túnel se asimila a un sistema de producción en serie. En primer lugar, en un sistema de producción en serie, la posibilidad de alterar la producción para adaptarse a los cambios, es limitada, a menos que se ejecuten más de un túnel, galería o frente a la vez. En segundo lugar, la posibilidad de ejecutar más de una actividad principal de trabajo a la vez también es limitada. Por lo tanto, ante cualquier perturbación que altere la secuencia de producción, ésta conllevará, a menudo, un impacto mayor en tiempo y coste que en otros tipos de obras.

Por lo tanto, resulta importante una herramienta que permita, en las fases del planeamiento y en las que se dispongan pocos datos, delimitar con el menor error posible, los dos parámetros que definirán sin duda la obra, el coste y el plazo. En caso de alcanzarse este objetivo la toma de decisiones sería mucho más sencilla y se dispondría de una herramienta útil para tal fin.

Seleccionar el método de excavación más apropiado es también una de las decisiones más determinantes que se ha de realizar en la etapa de planeamiento. La elección implica a menudo el elegir entre los métodos convencionales o los mecanizados. En este último tipo de túneles, los mecanizados, se centrará esta tesina ya que en los métodos convencionales la incertidumbre es mucho menor al ser un método de construcción más antiguo y conocido.

Cuando se eligen los métodos ejecución mecanizada, la tuneladora escogida debe poder desenvolverse en toda la gama de posibles incertidumbres y condiciones geológicas que se espera encontrar, teniendo en cuenta además que estas máquinas no permiten una visual directa del frente, haciendo esta tarea complicada, ya que no se dispone de información directa de lo que se encuentra en el transcurso de la excavación.

Se presentan a su vez otros problemas en la elección del método, a pesar de que la velocidad de construcción con tuneladora es muy superior a la que alcanza el método

convencional, el coste también se incrementa sustancialmente, lo que nos lleva a plantearnos a partir de qué distancia y diámetro es rentable utilizar un método mecanizado. La capacidad de seleccionar el método de ejecución más apropiado presenta grandes problemas tanto al cliente como al ingeniero pero resulta un aspecto crítico del que dependerá el éxito o fracaso de la obra. Es importante establecer una base sólida para tomar estas decisiones.

Se ha decidido, como paso previo al planteamiento del modelo, el estudio de los parámetros principales que están involucrados en la ejecución de un túnel mecanizado. Para tal fin se ha realizado un trabajo de documentación importante llegando a encontrar hasta 99 obras con suficiente entidad e información como para ser consideradas válidas. En gran medida, el importante volumen de datos conseguidos se debe a una reciente base de datos generada por la *British Tunnelling Society*¹, disponible en su página web, en la que se han introducido las obras ejecutadas en ese país con el objetivo que sirva de herramienta para afrontar nuevas construcciones. El objetivo de la base de datos, además de hacer una recopilación de los datos básicos de las obras más importantes y representativas ejecutadas con tuneladoras alrededor del mundo, es el de que sirva como herramienta por lo que se genera la base de datos con ACCESS. De esta forma se podrán hacer cruces y/o consultas de las diferentes variables, así como análisis comparativos de las principales características ya sean generales, de la tuneladora o de la ejecución de la obra. Es en definitiva, como se comprobará en apartados posteriores, una herramienta extremadamente útil que permitirá saber qué parámetros tienen más influencia en el coste, o por ejemplo, qué comportamiento cabe esperar del rendimiento al variar parámetros como el diámetro o material a excavar.

Las valoraciones del tiempo y del coste del proyecto se hacen normalmente de una manera determinista. Para poder manejar la variación en parámetros involucrados en el coste y tiempo de ejecución, se plantea un modelo basado en variables estocásticas, de forma que el coste total de un método de ejecución de un túnel se pueda expresar como una curva de la distribución normal, y poder así determinar tanto el coste como el plazo de ejecución en forma de intervalos que contemplarán la incertidumbre en los datos de entrada. Del empleo de distribuciones normales se deriva además el cálculo de cotas inferior y superior asociadas a probabilidades, hecho que permitirá no sólo acotar los resultados, sino además asociarles una probabilidad con lo que en el momento de toma de decisiones se sepa exactamente qué riesgo se está tomando.

El resultado final de esta tesina es una hoja de cálculo en la que, tras introducir una serie de parámetros básicos considerados determinantes en su influencia tanto en el coste como el plazo de ejecución, gracias al estudio previo de los resultados ofrecidos por la base de datos generada, ofrezca una serie de resultados, tanto gráficos como numéricos, basados en distribuciones normales que definan tanto el plazo como el coste esperados en la construcción de un determinado túnel mecanizado.

¹ www.britishtunnelling.org