

Dada su mayor longitud, respecto los otros tipos de tuneladoras, para un diámetro de excavación dado, los dobles escudos trazan curvas de radio irreversiblemente superior a los que se pueden lograr con los otros tipos de tuneladoras.

Debido a su mayor complejidad como máquina, los dobles escudo son sensiblemente más caros que les T.B.M.

Para finalizar, debido al efecto telescópico entre el escudo delantero y el posterior, el espacio que queda entre el extradós de las dovelas y el terreno es sensiblemente superior en les T.B.M con escudo.

3. RECOPIACIÓN DE CASOS Y GENERACIÓN DE UNA BASE DE DATOS

3.1. INTRODUCCIÓN

De cara a realizar el estudio planteado en esta Tesina y generar un modelo para determinar tanto el coste como el plazo en la ejecución de túneles es imprescindible delimitar de forma clara en qué se basará el mismo. Cabe recordar que el objetivo es que este modelo o herramienta que se pretende desarrollar tiene como premisa la sencillez. Es por ello, que aunque se le puedan dar diversos enfoques al problema que se nos presenta, parece no obstante, dado el gran volumen y dispersión que presentan los parámetros relacionados con este tipo de obras que la forma más sencilla de afrontar el problema es generando una base de datos que contenga la mayor cantidad de información de cada obra y partir de ella como herramienta tanto de búsqueda de relaciones entre parámetros como de resultados parciales. Con esta finalidad se ha realizado un trabajo de documentación importante llegando a encontrar hasta 99 casos con suficiente entidad e información como para ser considerados válidos. En gran medida, el importante volumen de datos conseguidos se debe a una reciente base de datos generada por la *British Tunnelling Society*, 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.

3.2. BASE DE DATOS

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 de 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 muestra en el punto 4, *Análisis de la Base de Datos*, una herramienta extremadamente útil y dinámica. Puede verse una muestra de relaciones y análisis entre parámetros, en modo gráfico, extraída de la base de datos utilizada en el estudio de la presente tesina en el Anejo 3 “Estudio de la Base de Datos”.

Aquí no obstante se muestra una tabla con los datos más básicos de las fichas generadas, que en lo referente a su elección, se ha centrado en las obras de los últimos 5 - 10 años incluida alguna obra actualmente en ejecución, con alguna obra

antigua especialmente relevante, de esta forma se garantiza cierta uniformidad en cuanto a costes y rendimientos muy necesaria para acotar la dispersión de los datos. La base de esta última afirmación se sustenta en información facilitada por la casa de tuneladoras Robbins en las que afirman que el coste de la maquinaria ha permanecido constante durante 15 años, hasta hace aproximadamente 4 años, cuando comenzó una escalada de precios debido al incremento de los costes relacionados con el metal así como de la mano de obra en los mercados mundiales. Puede verse la información completa aportada por las casas de tuneladoras en el apartado 5 *Estudio General de Costes*.

En cuanto al tipo de túnel se ha buscado un equilibrio que finalmente no se ha dado debido a que, para completar una base de datos lo suficientemente grande como para extraer valores medios o tendencias con la menor dispersión, se ha recurrido a una gran abundancia de túneles hidráulicos, los más comunes, teniendo mucho peso también los túneles de ferrocarril. Así pues las obras escogidas como base para el estudio han sido finalmente las 99 siguientes:

Id	NOMBRE DE LA OBRA	AÑO FINALIZACIÓN	UBICACIÓN	TIPO TUNEL
1	HSUESHAN	2004	CHINA	CARRETERA
2	MONTEGIGLIO CONVEYOR	2000	ITALIA	HIDRAULICO
3	VIOLA TRANSFER TUNNEL	2000	ITALIA	HIDRAULICO
4	ABDALAJIS TUNNEL	2004	ESPAÑA	FERROCARRIL
5	KUNMING ZHANGJUHE	2004	CHINA	HIDRAULICO
6	SÖRENBERG TUNNEL	2004	SUIZA	GAS
7	GUADARRAMA	2004	ESPAÑA	FERROCARRIL
8	TORINO METRO LINE 1(5)	2004	ITALIA	METRO
9	MARTIGNANO ROAD TUNNEL	2004	ITALIA	CARRETERA
10	LINEA 9 BARCELONA (EPB)	2010	ESPAÑA	METRO
11	METRO DE VALENCIA	2004	VENEZUELA	METRO
12	LINEA 1 DE MILAN	2004	ITALIA	METRO
13	METRO DE NÁPOLES	2004	ITALIA	METRO
14	LEFORTOVO TÚNEL	2003	RUSIA	CARRETERA
15	GROENE HART PROJECT	2004	HOLANDA	FERROCARRIL (TAV)
16	S.M.A.R.T. PROJECT	2003	MALASIA	CARRETERA/HIDRAULIC
17	H.S.R. IN BOLOGNA	2006	ITALIA	FERROCARRIL (TAV)
18	KOWLOON RAILWAY	2004	CHINA	FERROCARRIL
19	ROME RAILWAY	2002	ITALIA	FERROCARRIL
20	BERLIN RAILWAY	2003	ALEMANIA	FERROCARRIL
21	METRO SUR MADRID	2003	ESPAÑA	METRO
22	LONDON CTRL	2004	INGLATERRA	FERROCARRIL
23	PUERTO DE DUBLIN (ROCK)	2005	IRLANDA	CARRETERA
24	TUNEL DEL ELBA	2003	ALEMANIA	CARRETERA
25	LÖTSCHBERG BASE TUNNEL	2007	SUIZA	FERROCARRIL
26	TOULOUSE METRO	2007	FRANCIA	METRO
27	ZURICH-THALWILL	2002	SUIZA	FERROCARRIL

Id	NOMBRE DE LA OBRA	AÑO FINALIZACIÓN	UBICACIÓN	TIPO TUNEL
28	A-86 PARIS	2006	FRANCIA	CARRETERA
29	WESTERSCHELDE		HOLANDA	CARRETERA
30	COPENHAGUE METRO	2001	DINAMARCA	METRO
31	SHENZHEN METRO	2003	CHINA	METRO
32	DELHI METRO	2004	INDIA	METRO
33	BANGKOK METRO	2003	TAILANDIA	METRO
34	ATHENS METRO	2001	GRECIA	METRO
35	METRO DE OPORTO	2003	PORTUGAL	METRO
36	METRO DE VIENA		AUSTRIA	METRO
37	BOSTON HARBOUR	1999	EEUU	HIDRAULICO
38	NORTHSIDE STORAGE	2000	AUSTRALIA	HIDRAULICO
39	BREMEN HIGHWAY	2001	ALEMANIA	CARRETERA
40	LYON TUNNEL	2001	FRANCIA	CARRETERA
41	HUANG PU TUNNEL		CHINA	FERROCARRIL
42	VEREINA LINIE	1997	SUIZA	FERROCARRIL
43	Channel Tunnel Rail Link- Thames	2004	INGLATERRA	FERROCARRIL (T.A.V.)
44	Birmingham-Perry Hill Gravelly	2000	INGLATERRA	HIDRAULICO
45	Channel Tunnel Rail Link 2	2004	INGLATERRA	FERROCARRIL (T.A.V.)
46	Channel Tunnel Rail Link 3	2004	INGLATERRA	FERROCARRIL (T.A.V.)
47	Channel Tunnel Rail Link 4	2004	INGLATERRA	FERROCARRIL (T.A.V.)
48	Workington - John Pier	1999	INGLATERRA	HIDRAULICO
49	Ipswich - Orwell	2000	INGLATERRA	HIDRAULICO
50	Ipswich- South East Area	1982	INGLATERRA	HIDRAULICO
51	Clacton - on - Sea	1998	INGLATERRA	HIDRAULICO
52	London-West Ham-Greenwich	1998	INGLATERRA	CABLE
53	Portsmouth - Transfer Tunnel	2001	INGLATERRA	HIDRAULICO
54	Cardiff - East Interceptor	1999	INGLATERRA	HIDRAULICO
55	Fylde Coastal Water Improv.	1996	INGLATERRA	HIDRAULICO
56	Leicester-Abbey	1995	INGLATERRA	HIDRAULICO
57	Barking Reach Power Station	1994	INGLATERRA	HIDRAULICO
58	Thames Cable Tunnel	1968	INGLATERRA	CABLE
59	Dartfore Cable Tunnel	2004	INGLATERRA	CABLE
60	Thurrok - Southern Trunk	1988	INGLATERRA	HIDRAULICO
61	London Ring Main	1991	INGLATERRA	HIDRAULICO
62	London Ring Main 2	1990	INGLATERRA	HIDRAULICO
63	London Main Ring 3	1993	INGLATERRA	HIDRAULICO
64	Bury-NS Interceptor	1985	INGLATERRA	HIDRAULICO
65	Rochdale-Sudden Valley	1990	INGLATERRA	HIDRAULICO
66	Folkestone-Interceptor	1999	INGLATERRA	HIDRAULICO
67	Folkestone-Cheriton Sewer	1991	INGLATERRA	HIDRAULICO
68	Brighton & Hove Stormwater	1996	INGLATERRA	HIDRAULICO
69	Soothport-Coastal Interceptor	1995	INGLATERRA	HIDRAULICO
70	Channel Tunnel-Tunnel North	1990	INGLATERRA	FERROCARRIL (T.A.V.)
71	Channel Tunnel-Tunnel South	1990	INGLATERRA	FERROCARRIL (T.A.V.)

Id	NOMBRE DE LA OBRA	AÑO FINALIZACIÓN	UBICACIÓN	TIPO TUNEL
72	Standsted Airport Rail Link	1990	INGLATERRA	FERROCARRIL
73	Cleethorpes - Trunk	1995	INGLATERRA	HIDRAULICO
74	Driffield	1997	INGLATERRA	HIDRAULICO
75	Jersey-St. Helier Water Link	1997	INGLATERRA	HIDRAULICO
76	Oxford-West Oxford	1998	INGLATERRA	HIDRAULICO
77	London-Surbinton Hogsmill	1998	INGLATERRA	HIDRAULICO
78	St Helens - Interceptor	1989	INGLATERRA	HIDRAULICO
79	Mersey Kingsway Tunnel	1974	INGLATERRA	CARRETERA
80	London Ring Main 4	1992	INGLATERRA	HIDRAULICO
81	Sandwich Bay- North Deal	1995	INGLATERRA	HIDRAULICO
82	Ldn Docklands- Royal Docks	1989	INGLATERRA	HIDRAULICO
83	Poole -Surrey Road	1984	INGLATERRA	HIDRAULICO
84	Channel Tunnel-Marine Serv	1990	INGLATERRA	FERROCARRIL (T.A.V.)
85	Channel Tunnel- Land Serv	1989	INGLATERRA	FERROCARRIL (T.A.V.)
86	Channel Tunnel-Marine RTN	1991	INGLATERRA	FERROCARRIL (T.A.V.)
87	Channel Tunnel-Marine RTS	1991	INGLATERRA	FERROCARRIL (T.A.V.)
88	Severn & Wye Cable Tunnel	1971	INGLATERRA	CABLE
89	Empingham - Water Transfer	1973	INGLATERRA	HIDRAULICO
90	Wandsworth to Wimbledon	1995	INGLATERRA	CABLE
91	West Ham to N.Greenwich	1998	INGLATERRA	CABLE
92	High Wycombe	2004	INGLATERRA	HIDRAULICO
93	London Docklands-R.I Docks	1991	INGLATERRA	HIDRAULICO
94	Birmingham- P. Hill to Gravelly	2000	INGLATERRA	HIDRAULICO
95	London-City of London	2000	INGLATERRA	CABLE
96	Hull - Humbercare	2001	INGLATERRA	HIDRAULICO
97	Newport - Wastewater Tun.	1999	INGLATERRA	HIDRAULICO
98	Cromer - West Runton Outfall	1994	INGLATERRA	HIDRAULICO
99	Walsall - Bescot Cresent	1995	INGLATERRA	HIDRAULICO

Tabla 1.- Identificación de casos considerados en el estudio

A modo de ejemplo se puede ver una ficha de entrada de los datos tipo en la figura siguiente, mientras que todas las fichas se pueden consultar en el Anejo 2 “Fichas de obras”, donde se observa que se han agrupado los datos en 3 categorías:

- Datos generales de la obra (ubicación, tipología, geología, etc...)
- Datos básicos de la tuneladora (diámetro, potencia, longitud, etc...)
- Datos de ejecución de la obra (rendimientos máximos y medios, coste, etc...)

Como se puede apreciar el número de parámetros considerados de entrada es muy elevado y será el trabajo de tratamiento de datos el que dictamine cuales son los parámetros más significativos y sencillos para tratar el problema que nos ocupa. Destacar a su vez, que de las fichas generales se disponen de un cierto número de datos y difícilmente se puede obtener la información necesaria siquiera para la mitad de los campos previstos. Este problema deriva de las dificultades que ofrecen tanto

constructoras como fabricantes de tuneladoras para dar información pero, no obstante, parámetros tan importantes como los rendimientos, o las características físicas o geométricas de las máquinas sí están disponibles y serán básicos, como se verá más adelante, en el desarrollo de la tesina.

DATOS GENERALES			
Id	<input type="text"/>	TIPO DE ZONA	<input type="text"/>
NOMBRE DE LA OBRA	<input type="text"/>	MATERIALES	<input type="text"/>
AÑO FINALIZACIÓN	<input type="text"/>	PRESENCIA DE AGUA	<input type="text"/>
TIPO DE TUNELADORA	<input type="text"/>	COBERTURA MÁXIMA (m)	<input type="text"/>
CASA COMERCIAL	<input type="text"/>	LONGITUD TÚNEL (Km)	<input type="text"/>
UBICACIÓN	<input type="text"/>	LONGITUD DOVELAS (m)	<input type="text"/>
ESCUDO	<input type="text"/>	GRUESO DOVELAS (m)	<input type="text"/>
TIPO TUNEL	<input type="text"/>	RADIO DE GIRO MINIMO (m)	<input type="text"/>
DESCRIPCIÓN DE LA OBRA	<input type="text"/>		
GEOLOGIA	<input type="text"/>		
DATOS TUNELADORA			
DIAMETRO TUNELADORA (m)	<input type="text"/>	PESO (t)	<input type="text"/>
NUMERO DE CORTADORES	<input type="text"/>	NUMERO DE CILINDROS PRIMARIOS	<input type="text"/>
DIAMETRE CORTADOR (mm)	<input type="text"/>	NUMERO DE CILINDROS AUXILIARES	<input type="text"/>
EMPUJE CORTADOR (KN)	<input type="text"/>	EMPUJE MÁXIMO (KN)	<input type="text"/>
NUMERO DE PICAS / DIENTES	<input type="text"/>	EMPUJE NOMINAL (KN)	<input type="text"/>
POTENCIA CABEZA CORTE (KN)	<input type="text"/>	LONGITUD DE LOS CILINDROS (m)	<input type="text"/>
LONGITUD ESCUDO (m)	<input type="text"/>	PAR NOMINAL (KNM)	<input type="text"/>
CONICIDAD ESCUDO (m)	<input type="text"/>	MÁXIMA PRESIÓN DE FRENTE (bar)	<input type="text"/>
RPM	<input type="text"/>	PAR MÁXIMO (KNM)	<input type="text"/>
POTENCIA TOTAL INSTALADA (Kw)	<input type="text"/>	PRESIÓN DE FRENTE OPERATIVA (bar)	<input type="text"/>
DATOS DE EJECUCIÓN			
TRATAMIENTOS ESPECIALES	<input type="text"/>	PROBLEMATICA PRINCIPAL	<input type="text"/>
AVANCE MAXIMO DIARIO (m/día)	<input type="text"/>	AVANCE MÁXIMO EN UN MES (m/mes)	<input type="text"/>
MÁXIMAS PRESIONES DE FRENTE (bar)	<input type="text"/>	REND MEDIOS DE AVANCE (m/mes)	<input type="text"/>
CONSUMO DE PICAS/CORTADORES (pes/m)	<input type="text"/>	TIEMPO PARADAS (días)	<input type="text"/>
FACTOR DE UTILIZACIÓN (%)	<input type="text"/>	ASENTAMIENTOS MÁXIMOS (cm)	<input type="text"/>
COSTE TOTAL OBRA (Millones €)	<input type="text"/>		

Fig. 5. Ficha de entrada de los datos básicos tipo.