

MONOGRAFÍA **39**

M

TABLEROS EMPUJADOS

Grupo de Trabajo 3/10
Tableros empujados

Esta edición ha sido patrocinada por las siguientes empresas e instituciones:

ACCIONA / DRAGADOS / FERROVIAL / SACYR / SENER / TECPRESA

ENERPAC / IDEAM / LRA INGENIERÍA / MEKANO4

ORRAMOS INGENIERÍA / SARENS / ULMA / VSL

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA / UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Aunque la Asociación Técnica del Hormigón Estructural (ACHE) ha hecho un gran esfuerzo por asegurar que toda la información contenida en este documento es correcta y precisa, ACHE, sus miembros y sus trabajadores no aceptan responsabilidad alguna por daños y/o perjuicios de cualquier clase que pudiera originar el uso y aplicación del contenido de esta publicación. Las publicaciones de ACHE están redactadas para ser utilizadas por técnicos con capacidad para evaluar su contenido y por tanto cada lector asume la responsabilidad del uso de la información incluida en el presente documento.

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o distribuirse de ninguna forma, ni por ningún medio sin la previa autorización por escrito de ACHE.

Edita: ACHE (Asociación Española de Ingeniería Estructural)

I.S.B.N. 978-84-89670-93-8

D. Legal: M-5153-2021

Impreso en España

Trabajos editoriales: CINTER Divulgación Técnica

Uno de los objetivos fundamentales de la “Asociación Española de Ingeniería Estructural” (ACHE) es la difusión de los conocimientos relacionados con este ámbito de la técnica, y esto en todas sus fases (planificación, proyecto, construcción, control, mantenimiento, conservación, rehabilitación, seguimiento del patrimonio construido).

Dentro de la organización interna de ACHE se encuentra la “Comisión 3. Ejecución”, que extiende su actuación a todos los sistemas de construcción de las diversas estructuras que son nuestro objetivo, tanto en el ámbito de la edificación como en el de la ingeniería civil. Y, dentro de éste, los puentes constituyen una de sus principales actuaciones.

Las técnicas evolucionan a lo largo de la historia. En ocasiones nos pueden transmitir la sensación de permanecer inmóviles en el tiempo, nos puede parecer que manejamos las mismas que hace 2.000 o 3.000 años, pero moviendo mayores pesos y, por tanto, con maquinaria más capaz y potente. Sin embargo, en este documento podremos comprobar que realmente no es así. Los sistemas constructivos sufren (o más bien disfrutan) a lo largo del tiempo de cambios cuantitativos de tal calibre que, necesariamente, se convierten en cualitativos.

En esta monografía se recoge la experiencia de la ingeniería española en los últimos 50 años y, solo en éstos, ya se aprecia una notable evolución de esta técnica. Claro que alguien podría decir que, como se hacía 3.000 años atrás, “tirar” desde un margen de un río de un tronco situado en el otro, mientras se empuja desde este último, es un sistema de tablero empujado; pero a cualquiera se nos ocurre que no es lo mismo que construir, por ejemplo, el pabellón puente de la Exposición Internacional de Zaragoza (2008). La filosofía de ambos puede tener un parecido, pero el desarrollo de la técnica, las posibilidades y las implicaciones constituyen un mundo totalmente diferente.

La ingeniería civil española en general, y la ingeniería estructural en particular, han tenido un desarrollo espectacular en los últimos 50 años. Esto se refleja perfectamente en el documento que aquí nos ocupa. Los ejemplos que se muestran desde los años 70 del pasado siglo XX y los construidos en estos diez o quince últimos años muestran esta evolución y las grandes diferencias existentes entre ellos.

Por esta razón, es fácil augurar a esta monografía una clara vocación no sólo nacional, sino internacional, con una repercusión en el ámbito ingenieril que irá más allá de nuestras fronteras. Además, los ingenieros y las empresas españolas así lo están mostrando, de manera muy especial, en los últimos lustros.

Monografía

En la redacción del documento han participado ingenieros de todo tipo de empresas afectadas por las diversas etapas de esta tipología estructural. En ellas se encuentran proyectistas, constructoras, equipamiento de maquinaria especial, instrumentación y control. A todos ellos, encabezados por Benjamín Navamuel, como coordinador del Grupo de Trabajo, les queremos mostrar en estas líneas nuestro agradecimiento por sus conocimientos y experiencias y, sobre todo, por su generosidad al hacernos a todos partícipes de los mismos.

Jesús Gómez Hermoso
Ramón Sánchez Fernández
José Ignacio Díaz de Argote

**Presidentes de la Comisión 3.
Ejecución**

La realización de puentes mediante el empleo del sistema de tablero empujado; puente empujado; o también denominado método de empuje incremental, es uno de los métodos que permite la construcción de puentes sin la necesidad de utilizar estructuras provisionales de apoyo al suelo. La originalidad de este método estriba en el hecho de ser la propia estructura definitiva con unos medios bastante “discretos” quien se va sucediendo a sí misma hasta quedar en su posición definitiva.

Desde que la técnica de construcción de puentes por empuje nació, esta no ha dejado de evolucionar hasta convertirse en el método constructivo de tableros con un mayor grado de industrialización, permitiendo trasladar a la obra los conceptos empleados en la industria en cuanto a plazos, calidad y seguridad en el trabajo.

Se ha buscado agrupar toda la información básica referente a la ejecución de tableros empujados longitudinalmente que pueda servir de introducción a esta tecnología, haciendo hincapié en los siguientes puntos:

- Entendible por todos los agentes que intervienen en el proceso de ejecución de un puente empujado: administración, proyectista, constructor y subcontratista.
- Se han enumerado las condiciones y aspectos más importantes que hacen viable el empuje del tablero, así como el estado actual de la técnica que lo permite.
- Generalmente el grado de definición del proyecto de un puente empujado, en el que muchos de sus elementos vienen condicionados por los medios constructivos, no es conocido hasta que se adjudica la obra. En el capítulo referente a las particularidades del proyecto se especifican los contenidos mínimos que debe tener un proyecto para licitación, al que se le ha denominado “proyecto de construcción”, que encarga la administración al consultor y que posteriormente, una vez adjudicado, con la adecuación a los medios del contratista servirá de base al “proyecto de adaptación” o proyecto definitivo; pero sin la necesidad de pasar por un proyecto modificado que implique cargas administrativas y legales.
- Finalmente se han incluido dos ejemplos de tableros de hormigón y mixto, así como unas fichas de realizaciones ejecutadas por diferentes empresas constructoras a fin de ilustrar con datos y referencias todo lo comentado en la publicación.

Sabido es el comentario que copiar de una fuente es plagio, de dos un trabajo, de tres un estudio y de cuatro o más, alta labor de investigación. En este caso no se trata de ninguna de ellas ya que el contenido de todo lo redactado ha pasado por el tamiz de la experiencia de todos los profesionales que han intervenido de forma desinteresada en la elaboración del documento.

Monografía

Seguramente existirán puntos que no se han tratado con suficiente profundidad o temas que no han quedado reflejados, pero el carácter dinámico de esta tecnología necesitará una renovación constante para amoldarse a los continuos adelantos de la técnica, aspecto que en la comisión de ejecución de ACHE siempre se tratará de forma prioritaria.

Benjamín Navamuel Aparicio (ULMA)

Coordinador del GT3/10

Grupo de trabajo 3/10 “Tableros Empujados”

Coordinador:

Benjamín Navamuel Aparicio (ULMA)

Miembros:

Jordi Revoltos Fort (SENER)

José M^a Martínez Gutiérrez (SARENS)

Guillermo Lorente Perchín (GGRAVITY ENGINEERING)

Antonio Reyes (PERI)

David Arribas Mazarracín (FCC)

José Manuel Peña Pascual (TECPRESA)

Oscar Ramón Ramos (ORRAMOS INGENIERÍA / UNIV. DE CANTABRIA)

José Antonio Llombart (INGENIERO CONSULTOR)

Ricardo Llago Acero

Juan Manuel Linero Moya (BBR.PTE)

José M Simón – Talero Muñoz (TORROJA INGENIERÍA)

Luís Matute Rubio (IDEAM)

Carlos Castañón Jiménez (IDOM / MC2)

Tomás Ripa Alonso (LRA INFRASTRUCTURES CONSULTING)

Patricia García Rodríguez (ACCIONA)

Carlos Bajo (FERROVIAL)

Rafael Pérez Valencia (SACYR)

Narciso Pulido Asín (SACYR)

Raimon Rucabado (MEKANO4)

Germán Bares Lucindo (MEKANO4)

Carlos Polimón Olabarrieta (DRACE INFRAESTRUCTURAS)

Jesús González (ENERPAC)

Patrick Ladret (FREYSSINET)

Antonio Vázquez Salgueiro (GGRAVITY ENGINEERING)

Juan Rodado (GRUPO PUENTES)

Índice

0. Principios del método de empuje incremental	17
1. Desarrollo histórico	19
2. Viabilidad	25
2.1. Limitaciones geométricas	26
2.2. Longitud de tablero	33
2.3. Sección transversal y peralte	34
2.4. Sistema de empuje	35
2.5. Tipo de sección luces y esbelteces	35
2.5.1 tipos de sección	35
2.5.2 luces y anchos de tablero	36
2.6. Esbelteces de tablero	36
2.6.1 tableros de canto variable	36
3. Sistemas de empuje.	41
3.1. Introducción	41
3.2. Sistemas de empuje longitudinal	41
3.2.1. Sistemas de empuje que precisan punto de reacción fijo:	41
3.2.1.1. Empuje mediante cilindros hidráulicos de fricción	42
3.2.1.2. Tiro con equipos hidráulicos	47
3.2.1.3. Sistemas tipo cremallera	50
3.2.2. Sistemas de empuje que precisan puntos de reacción sucesivos	51
3.2.3. Sistemas de empuje que no precisan punto de reacción:	54
3.2.3.1 plataformas de transporte (convencionales y/o autopropulsadas):	55
3.2.3.2 barcazas o pontonas	60

3.3.	Dispositivos de retenida y enclavamiento	66
3.3.1	introducción y definiciones.	66
3.3.2	dimensionamiento del dispositivo de retenida:.....	67
3.3.3	retenida activa. Tipos principales	68
3.4.	Sistemas mixtos	70
4.	Elementos auxiliares de empuje	75
4.1.	Introducción	75
4.2.	Elementos de apoyo y guiado	76
4.2.1.	Elementos de apoyo durante el empuje	76
4.2.1.1.	Apoyos provisionales de deslizamiento	76
4.2.1.2.	Apoyos definitivos adaptados para empuje.....	81
4.2.2.	Elementos de guiado.....	83
4.2.2.1.	Clasificación de las guías laterales en función de su capacidad de actuación.....	83
4.2.2.2.	Clasificación de las guías laterales en función del elemento en contacto con el tablero	84
4.2.2.3.	Clasificación de las guías laterales en función de su inclusión o no en los apoyos de deslizamiento	85
4.3.	Elementos auxiliares para el control de esfuerzos y deformaciones.....	85
4.3.1.	Nariz de empuje	86
4.3.1.1.	Nariz de empuje en puentes de hormigón pretensado	86
4.3.1.2.	Nariz de empuje en puentes metálicos y mixtos	87
4.3.1.3.	Unión de la nariz de empuje al tablero.....	88
4.3.1.4.	Sistema de recuperación de la deformación elástica	88
4.3.2.	Torre de atirantamiento	89
4.3.2.1.	Torre y cables de atirantamiento.....	89
4.3.2.2.	Tipología y ubicación de la torre de atirantamiento.....	91
4.3.2.3.	Sistemas de tirantes.....	92
4.3.2.4.	Regulación de la tensión de los tirantes.....	92
4.3.2.5.	Criterios para el establecimiento de los distintos niveles de tesado	93
4.3.2.6.	Montaje y desmontaje de la torre de atirantamiento.....	93
4.3.3.	Pilas provisionales.....	93
4.3.3.1.	Tipología de las pilas provisionales.....	94
4.4.	Otros elementos auxiliares	95
4.4.1.	Contranariz de empuje	95

4.4.2.	Arriostrado o atirantamiento provisional de pilas.....	96
4.4.2.1.	Atirantamiento provisional de pilas.....	97
4.4.2.2.	Arriostramiento provisional de pilas	97
4.4.2.3.	Desmontaje del sistema de atirantamiento o arriostramiento provisional de pilas.....	98
4.4.3.	Viga de tiro	98
5.	Particularidades del proyecto de un puente empujado.....	99
5.1.	Particularidades del proyecto	100
5.1.1.	Longitud del puente y distribución de luces.....	101
5.1.2.	Elección del sistema de empuje	104
5.1.3.	Retenida y enclavamiento	107
5.1.4.	Contraflechas	107
5.1.5.	Acciones a considerar durante el proceso de empuje.....	110
5.1.6.	Modulación del tablero. Longitud de dovelas	116
5.1.7.	Modelización del tablero.....	117
5.1.8.	Diseño y comprobación del tablero.	118
5.1.8.1.	Tablero mixto.....	118
5.1.8.2.	Tablero de hormigón	120
5.1.9.	Diseño y comprobación de pilas y de estribos	122
5.1.9.1.	Pilas.....	122
5.1.9.2.	Estribos	124
5.1.10.	Dimensionamiento de elementos auxiliares	124
5.1.10.1.	Nariz.....	125
5.1.10.2.	Torre de atirantamiento. Niveles de tesado	129
5.1.10.3.	Pilas provisionales.....	131
5.1.10.4.	Contranariz.....	131
5.1.10.5.	Atirantamientos y arriostramientos provisionales de pilas	131
5.1.11.	Otros elementos auxiliares	133
5.1.11.1.	Apoyos provisionales de lanzamiento y guías laterales.....	133
5.1.11.2.	Elementos de tiro y de retenida.....	133
5.1.12.	El parque de empuje	134
5.1.12.1.	El proyecto de construcción	134
5.1.12.2.	El proyecto de adaptación.....	135
5.1.13.	Instrumentación y control	137
5.1.13.1.	El proyecto de construcción	137
5.1.13.2.	El proyecto de adaptación.....	138

5.2.	Relación de “ítems” a incluir en el proyecto de construcción de un puente empujado.....	140
5.2.1.	Puente mixto.....	140
5.2.1.1.	Memoria (cálculos).....	140
5.2.1.2.	Planos.....	142
5.2.1.3.	Mediciones y pliego.....	143
5.2.2.	Puente de hormigón.....	144
5.2.2.1.	Memoria (cálculos).....	144
5.2.2.2.	Planos.....	145
5.2.2.3.	Mediciones y pliego.....	146
5.3.	Relación de “ítems” a incluir en el proyecto de adaptación de un puente empujado.....	147
5.3.1.	Puente mixto.....	147
5.3.1.1.	Memoria (cálculos).....	147
5.3.1.2.	Planos.....	148
5.3.2.	Puente de hormigón.....	149
5.3.2.1.	Memoria (cálculos).....	149
5.3.2.2.	Planos.....	150
6.	Ejecución.....	153
6.1.	Ejecución de puentes con tablero mixto.....	153
6.1.1.	Dimensiones generales del parque.....	154
6.1.1.1.	Condicionantes geométricos de la traza.....	154
6.1.1.2.	División de dovelas y tramos de empuje.....	155
6.1.1.3.	Medios de transporte y descarga.....	157
6.1.1.4.	Zonas de acopio.....	157
6.1.2.	Organización del trabajo.....	158
6.1.2.1.	Armado.....	158
6.1.2.2.	Soldadura.....	158
6.1.2.3.	Inspección y control.....	159
6.1.2.4.	Pintura.....	159
6.1.3.	Apoyos de armado y apoyos de empuje.....	160
6.1.4.	Tolerancias y control de deformaciones.....	162
6.1.5.	Rendimientos.....	163
6.2.	Ejecución de puentes con tablero de hormigón pretensado.....	165
6.2.1.	Parque de empuje.....	165
6.2.1.1.	Definición.....	165
6.2.1.2.	Elección del emplazamiento.....	166
6.2.1.3.	Modulación de las dovelas.....	167

6.2.1.4.	Tamaño del parque	167
6.2.1.5.	Organización del parque	168
6.2.1.6.	Encofrados para tableros de hormigón	170
6.2.2.	Ferrallado de puentes empujados	177
6.2.3.	Hormigonado de la dovela.....	177
6.2.4.	Pretensado	179
6.2.4.1.	Pretensado de empuje:	179
6.2.4.2.	Pretensado de servicio.....	181
6.2.5.	Rendimientos.....	182
7.	Instrumentación y control.....	185
7.1.	Justificación de la necesidad de monitorización durante el proceso de empuje.....	185
7.2.	Parámetros indispensables a controlar durante el empuje.	186
7.2.1.	Control de la fuerza de empuje	186
7.2.2.	Detección de desplazamientos y giros en cabezas de pilas	187
7.2.2.1.	Sistemas mecánicos	187
7.2.2.2.	Sistemas electrónicos	188
7.2.2.3.	Control topográfico en continuo mediante estaciones totales.....	189
7.2.3.	Control de la reacción y flechas	190
7.2.4.	Control de la fuerza en torres de atirantamiento.	190
7.3.	Interruptores de detección de empuje.....	191
7.4.	Otros parámetros susceptibles de ser monitorizados.	191
7.5.	Recomendación general sobre la instrumentación.	191
8.	Ejemplos de tipos de empuje	193
8.1.	Ejemplo de proceso de empuje de un tablero de hormigón	193
8.1.1.	Descripción de la estructura.	194
8.1.2.	Parque de prefabricación.	195
8.1.2.1.	Parque de ferralla.....	195
8.1.2.2.	Encofrado.....	195
8.1.2.3.	Zona de compensación.....	195
8.1.3.	Sistema de empuje.....	196
8.1.4.	Nariz de empuje	199
8.1.5.	Cambio de apoyos.....	200
8.1.6.	Rendimientos obtenidos	201
8.2.	Ejemplo de proceso de empuje de una tablero metálico con torre	201
8.2.1.	Tipología de la estructura	202

8.2.2.	Descripción general del procedimiento de empuje.....	203
8.2.2.1.	Fases de empuje.....	203
8.2.2.2.	Situación de los elementos de empuje.....	203
8.2.2.3.	Elementos de deslizamiento	206
8.2.2.4.	Elementos de tiro	207
8.2.2.5.	Torre de atirantamiento	207
8.2.2.6.	Nariz de empuje:	209
8.2.2.7.	Arriostramiento entre las pilas:.....	209
8.2.3.	Instrumentación y control	209
8.2.3.1.	Ensayo en el parque de empuje.....	209
8.2.3.2.	Instrumentación.....	210
8.2.4.	Descripción de los principales elementos	210
8.2.4.1.	Conjunto balancín 4690 kn.....	210
8.2.4.2.	Conjunto balancín 3300 kn.....	211
8.2.4.3.	Apoyo tipo pot/calzo	212
8.2.4.4.	Guía lateral de rodillo tipo 1	212
8.2.4.5.	Guía lateral apm tipo a	213
8.2.4.6.	Guía lateral de rodillo tipo 2	214
8.2.4.7.	Conjunto de guías en las pilas tipo a´	214
8.2.4.8.	Conjunto de guías en las pilas tipo b	215
8.2.4.9.	Percha de tiro en tablero	215
8.2.4.10.	Cilindros de tiro	215
8.2.4.11.	Conjunto retenedor de cables pasivo en estribo.....	217
8.2.4.12.	Tirantes de paso de pilas	217
8.2.4.13.	Anclaje pasivo superior en tirante delantero y trasero	217
8.2.4.14.	Anclaje pasivo inferior en tirante delantero (posibilidad de tesado con cilindro unitario)	218
8.2.4.15.	Anclaje activo inferior en tirante trasero	219
8.2.4.16.	Freno de la estructura	219
8.2.5.	Procedimiento de empuje.....	219
8.2.5.1.	Controles	219
8.2.5.2.	Proceso de empuje	221
8.2.5.3.	Trabajos singulares	223
8.2.6.	Tareas y riesgos asociados.....	225
8.2.6.1.	Objetivo	225
8.2.6.2.	Tareas	225

9. Operaciones posteriores al empuje.....	229
9.1. Transferencia de carga	229
9.1.1. Tipología.....	229
9.1.2. Dispositivos para transferencia de carga vertical:	230
9.1.2.1. Equipos:	230
9.1.2.2. Disposición:	230
9.1.3. Transferencia de carga horizontal	231
9.1.3.1. Retenidas y guías definitivas:.....	231
9.1.3.2. Condiciones de instalación y particularidades:	231
9.1.4. Secuencia de operación:	232
9.1.5. Puntos particulares sobre la instalación de apoyos:	234
9.1.5.1. Compensación de nivel y de horizontalidad:.....	234
9.1.5.2. Dispositivos de anclaje:.....	234
9.1.5.3. Particularidades de los apoyos definitivos implementados durante el empuje:	236
9.1.6. Datos requeridos de proyecto para la transferencia de carga.....	237
9.2. Desmontaje de elementos de lanzamiento.	238
9.3. Trabajos estructurales posteriores al empuje	239
9.3.1. Ejecución de la losa superior en secciones mixtas.	239
9.3.1.1. Elementos prefabricados.....	239
9.3.1.2. Encofrados de losa.....	239
9.3.2. Operaciones comunes a otros tableros.....	241
 10. Fichas de ejecuciones realizadas.	 243
10.1. Fichas con ejecuciones de tableros en hormigón pretensado.	243
10.2. Fichas con ejecuciones de tableros mixtos.	295
 11. Bibliografía	 357

