

MONOGRAFÍA **37**

**M**

**DOVELAS DE HORMIGÓN  
PREFABRICADO  
REFORZADO CON FIBRAS  
PARA TÚNELES**

Traducción del *fib* Bulletin 83:  
Precast tunnel segments  
in fibre-reinforced concrete

Grupo de Trabajo 1/5  
Hormigón reforzado con fibras  
Comisión 1 “Proyecto”

*Aunque la Asociación Española de Ingeniería 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. 978-84-89670-91-4*

*Trabajos editoriales: CINTER Divulgación Técnica*

## Prólogo

La Comisión I “Proyecto” de ACHE, en su reunión de 2 de diciembre de 2014, consciente de que el hormigón reforzado con fibras es un material que está incrementando su uso en las estructuras de hormigón, identificó entre los temas que podían tener un interés práctico para los proyectistas, la elaboración de documentos de apoyo para proyecto de estructuras realizadas con Hormigón reforzado con fibras.

La Comisión I propuso a Juan Carlos Lancha, quien posee una gran experiencia y conocimiento en esta materia, como coordinador de este grupo.

Tras invitar a expertos en esta materia a participar en este grupo de trabajo, se constituyó el grupo de trabajo GT I/5 “Hormigón reforzado con fibras”. Desde su constitución, este grupo de trabajo consideró que la traducción del Boletín fib 83 “Dovelas de Hormigón Prefabricado Reforzado con Fibras para Túneles”, que estaba ultimando el grupo WP 1.4.1 fib, podía ser de gran interés para los proyectistas y contratistas que quisieran trabajar con este material.

Este documento constituye un magnífico Estado del Arte sobre el diseño de túneles con revestimiento formado por dovelas prefabricadas de hormigón reforzado con fibras y además una excelente guía de aplicación práctica para los proyectistas y constructores.

La participación de Albert de la Fuente, miembro del grupo WP 1.4.1 fib, como coordinador del trabajo de traducción que ha realizado el grupo de trabajo GT I/5, ha sido esencial para garantizar una traducción fiel al documento original.

Este trabajo no hubiera visto la luz sin el esfuerzo de todos los miembros del grupo de trabajo y sin la labor de coordinación de Juan Carlos Lancha.

A todos debemos nuestro agradecimiento.

**Pedro F. Miguel Sosa**

Presidente de la Comisión i.

“PROYECTO”

## Presentación

Hace apenas un año, fib publicó su boletín No.83 “Precast tunnel segments in fiber-reinforced concrete”.

El documento es un soporte para los proyectistas encargados del diseño de túneles ejecutados mediante dovelas de hormigón reforzado con fibras.

En él se detallan los aspectos prácticos de la aplicación de las prescripciones del Código Modelo 2010 a la problemática específica de este tipo de estructura.

El documento que el lector tiene en sus manos es una traducción al español de este boletín No.83, y constituye el primer trabajo del Grupo de Trabajo 5 dentro de la Comisión 1 de ACHE.

El trabajo de traducción ha sido coordinado por D. Albert de la Fuente, miembro de WP 1.4.1. de fib, redactor del documento original. A él y a todos los traductores agradecemos el trabajo realizado.

Agradezco también, de forma especial, a Dña. Celia Gómez del Pulgar el trabajo de homogeneización formal y de maquetación final del documento.

**Juan Carlos Lancha Fernández**  
Coordinador del grupo de trabajo 1/5  
“Hormigón reforzado con fibras”

### **Grupo de Trabajo 1/5 “Hormigón reforzado con fibras”**

**Coordinador del grupo de trabajo:**  
Juan Carlos Lancha Fernández

**Coordinador del documento:**  
Albert de la Fuente Antequera

**Traductores:**  
Bryan Barragán  
Juan Luis Bellod Thomas  
Miguel Ángel Gómez Caldito  
M<sup>a</sup> Celia Gómez del Pulgar González  
Giancarlo Grolí  
Agustín Gregorio Lacort Echeverría  
Mariano Martín Cañueto  
Marta Pérez Escacho  
Jacinto Ruiz Carmona.

Bulletin

83



# Precast tunnel segments in fibre-reinforced concrete

*fib* 83  
CEB·FIP  
Bulletin

Precast tunnel segments in  
fibre-reinforced concrete

State-of-the-art report  
*fib* WP 1.4.1

October 2017

## Approval for this bulletin

Subject to priorities defined by the Technical Council and the Presidium, the results of the *fib*'s work in commissions and task groups are published in a continuously numbered series of technical publications called *bulletins*. The following categories are used:

### **Category:**

Technical report

State-of-the-art report

Manual/Guide to good practice/Recommendation

Model code

### **Approval by:**

Task group and chairpersons of the commission

Commission

Technical Council

General Assembly

Any publication not having met the above requirements will be clearly identified as a preliminary draft.

*fib* Bulletin 83 was approved as a state-of-the-art report by Commission I and was drafted by Working Party I.4.1, Tunnels in fibre-reinforced concrete, in Commission I, Structures.

### **Cover images:**

Front cover: Doha Metro Red Line North. Photograph courtesy of Salini-Impregilo.

Back cover: Idris Sewage Tunnel - Qatar. Photograph courtesy of Bouygues Constructions Ltd.

© Fédération internationale du béton (*fib*), 2017

Although the International Federation for Structural Concrete / Fédération internationale du béton (*fib*) and the Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI) do their best to ensure that all the information presented in this publication is accurate, no liability or responsibility of any kind, including liability for negligence, is accepted in this respect by these organisations, their members, employees or agents.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, modified, translated, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means - electronically, mechanically, through photocopying, recording or otherwise - without prior written permission from the *fib*.

ISSN 1562-3610

ISBN 978-2-88394-123-6

Layout by Corinne Bottollier from the *fib* Secretariat

Proofreading by Marie Reymond from the *fib* Secretariat

Printed by DCC Document Competence Center Siegmars Kästl e.K., Germany

## Acknowledgements

This report was drafted by Working Party 1.4.1, Tunnels in fibre-reinforced concrete, in Commission I, Structures.

### **Authors:**

#### **Alberto Meda (Convener/Editor)**

University of Rome Tor Vergata, Italy

#### **Giovanni Blasini**

Consultant, Italy

#### **Christophe Bragard**

(Traylor Bros., Inc., USA)

#### **Albert de la Fuente**

UPC Barcelona, Spain

#### **Frank Dehn**

MFPA Leipzig, Germany

#### **Hiroshi Dobashi**

Metropolitan Express Company, Japan

#### **Carola Edvardsen**

COWI, Denmark

#### **Alessandro Fantilli**

Politecnico di Torino, Italy

#### **Sylvie Giuliani-Leonardi**

Vinci Constuction Grands Projets –  
Underground Engineering Department, France

#### **Lindita Kodra**

Bouygues, France

#### **Peter Jackson**

Systra, France

#### **Thibaut Pannetier**

CETU, France

#### **Giovanni Plizzari**

University of Brescia, Italy

#### **Zila Rinaldi**

University of Rome Tor Vergata

#### **Panagiotis Spyridis**

TU Dortmund University, Germany

#### **Giuseppe Tiberti**

University of Brescia, Italy

### **Additional contributors:**

#### **Nicolas Bsaibes**

Vinci Constuction Grands Projets –  
Underground Engineering Department, France

#### **Fabio Di Carlo**

University of Rome Tor Vergata

#### **Marco di Prisco**

Politecnico di Milano, Italy

#### **Pascal Guedon**

Arcadis, France

#### **Catherine Larive**

CETU, France

#### **Michel Moussard**

Arcadis, France



## Preface

Mechanical excavated tunnels (tunnels excavated with a TBM – Tunnel Boring Machine) are more and more used in Civil Engineering. In these tunnels, the lining is made assembling precast segments used by the TBM as reacting elements in the excavation process.

The use of Fibre-Reinforced Concrete (FRC) allows to reduce or eliminate the traditional reinforcement in the precast segment production. Over the last few years, the use of this technology has increased.

One of the aspect that are boosting the use of FRC in segmental linings is the introduction of guidelines for the design of FRC. In 2013, the *fib* presented the Model Code 2010 in which a specific part related to FRC is inserted. This document has sparked great interest in the tunnelling community and several documents consider Model Code 2010 as a reference.

For this reason, *fib* Task Group 1.4 “Tunnels” decided to create Working Party 1.4.1 on “Tunnels in Fibre-Reinforced Concrete”. The Working Party prepared the present bulletin with the aim to support designer, clients and construction companies in introducing FRC in segmental lining tunnels referring to the indication of Model Code 2010.

This bulletin was prepared aiming that future projects can benefit from the work made within WP1.4.1 and boosting the use of FRC in this kind of applications.

**Alberto Meda**

Convener of *fib* Working Party 1.4.1

Tunnels in fibre-reinforced concrete

## Foreword

With the publication of this bulletin, *fib* Commission 1 is initiating a new series of documents related to the use of structural concrete in underground construction, where structural concrete plays a major and increasingly important role. The usage of underground space is more than ever a key issue of urban planning and *fib* decided to start addressing the issues related to the design and construction of concrete structures in this particular environment.

In this context, one of the most significant applications of structural concrete is tunnel lining, for which the properties of reinforced concrete are particularly well suited through compressive strength, water tightness, ductility, and durability. Reinforced concrete tunnels linings have mostly traditionally been cast in situ, but the development of Tunnel Boring Machines has led to the invention of precast concrete segmental lining technology, which is nowadays one of the most promising applications of Fibre-Reinforced Concrete (FRC).

Thanks to the courage and dedication of innovative designers and contractors, a number of large tunnels have already been built around the world with FRC precast linings, and this report presents the experience acquired with these projects, and also provides guidance about the way to apply 2010 *fib* Model Code recommendations on FRC to these structures.

The main drivers of this evolution from RC to FRC are better ductility, more durability, and easier fabrication and construction process.

As Commission 1 chair, I am very grateful to Alberto Meda and to all members of this task group for opening the way to this new field of underground structures within our commission, and to have efficiently produced a document that will be useful to our members and to the construction community around the world.

**Michel Moussard**

Chair of *fib* Commission I *Concrete Structures*

# Índice

<b>1. Introducción</b> .....	<b>15</b>
1.1 Alcance del documento.....	15
1.2 Túneles excavados con medios mecánicos.....	15
1.3 Hormigón reforzado con fibras en anillos de dovelas.....	17
1.4 Referencias.....	20
<b>2. Material</b> .....	<b>21</b>
<b>3. Diseño para situaciones de carga transitoria durante la producción</b> .....	<b>25</b>
3.1 Situaciones de carga transitorias.....	25
3.2 Criterios de seguridad y estrategias de diseño.....	26
3.3 Criterios para sustituir armadura convencional por fibras.....	27
3.4 Procedimiento de diseño según el Método de los Estados Límite.....	27
3.4.1 Introducción.....	27
3.4.2 Diseño del refuerzo mediante análisis seccional.....	28
3.4.3 Dovelas $h_a/h_{rf}$ con $m_u \geq m_{cr,d}$ .....	30
3.4.4 Dovelas de $h_{rf}$ con $m_u \geq m_{cr,d}$ .....	31
3.4.5 Dovelas $h_{rf}$ con $m_u < m_{cr,d}$ .....	31
3.5 Estado Límite de servicio de fisuración.....	32
3.6 Cálculo para diferentes etapas de carga.....	32
3.6.1 Desmoldeo.....	32
3.6.2 Acopio.....	33
3.6.3 Transporte.....	34
3.6.4 Manipulación.....	35
3.7 Referencias.....	35
<b>4. Fase de empuje de la tuneladora</b> .....	<b>39</b>
4.1 Comportamiento local de la dovela.....	41
4.1.1 Comportamiento local de la dovela en túneles de dovelas de HRF.....	45
4.2 Comportamiento global de la dovela.....	47
4.2.1 Comportamiento global de la dovela de un túnel de dovelas de HRF.....	50
4.3 Referencias.....	52
<b>5. Estado final de carga (cargas de larga duración)</b> .....	<b>55</b>

<b>6. Evaluación del revestimiento del túnel tras exposición al fuego .....</b>	<b>57</b>
6.1 Introducción.....	57
6.2 Degradación de las características del material.....	58
<b>7. Conectores .....</b>	<b>61</b>
7.1 Introducción.....	61
7.2 Tipos de conectores.....	61
7.3 Uso de conectores.....	61
7.4 Cargas y modos de fallo para insertos en hormigón.....	62
7.5 Diseño de conectores.....	64
7.5.1 Diseño contra la rotura del acero.....	65
7.5.2 Diseño para pérdida de interfaz de apoyo en rehundidos/cajetines huecos.....	66
7.5.3 Diseño por fallo de hormigón según método de diseño por capacidad del hormigón.....	66
7.5.4 Condiciones de carga extrema y de largo plazo.....	67
7.5.5 Combinaciones de diseño y concepto de seguridad.....	67
7.5.6 Verificación de la capacidad de carga del soporte.....	68
7.6 Referencias.....	70
<b>8. Durabilidad .....</b>	<b>71</b>
8.1 Introducción.....	71
8.2 Normas y guías existentes.....	71
8.3 Corrosión de las fibras de acero.....	73
8.3.1 Corrosión en hormigón sin fisurar.....	73
8.3.2 Corrosión en hormigón fisurado.....	75
8.4 Corrosión de la fibra inducida por corrientes parásitas.....	82
8.5 Resumen.....	83
8.6 Referencias.....	84
<b>9. Control de calidad.....</b>	<b>87</b>
9.1 Ensayos iniciales, pruebas.....	87
9.1.1 Evaluación de las propiedades del hormigón a los 28 días.....	87
9.1.2 Evaluación de las propiedades del hormigón a edad temprana.....	90
9.1.3 Evaluación de las propiedades del hormigón a largo plazo.....	90
9.1.4 Ensayos adicionales.....	90
9.2 Ensayos durante la producción.....	91
9.3 Criterios de aceptación.....	92
9.4 Referencias.....	92

<b>10. Evaluación de la sostenibilidad del revestimiento de los túneles mediante el uso combinado de los métodos EMI y MIVES .....</b>	<b>93</b>
10.1 Índice de Sostenibilidad.....	94
10.1.1 Método para definir la función valor.....	96
10.2 Índice mecánico.....	99
10.3 Aplicación en un revestimiento de hormigón.....	102
10.4 Conclusiones.....	107
10.5 Referencias.....	107
<b>11. Casos de estudio .....</b>	<b>111</b>
11.1 Caso de estudio I.....	112
11.2 Caso de estudio II.....	126
<b>A.1. Definición de diagramas de interacción M-N en ELU .....</b>	<b>141</b>
<b>A.2. Definición de diagramas de interacción M-N en ELS.....</b>	<b>146</b>
<b>A.3. Relación tensión-deformación para análisis no lineales.....</b>	<b>151</b>
A.3.1 Ley tensional uniaxial global para HRFs.....	154
A.3.2 Ejemplo de evaluación de una Ley constitutiva global uniaxial.....	158
A.3.3 Referencias .....	165