

MONOGRAFÍA **34**

M

FATIGA EN HORMIGÓN ESTRUCTURAL

Grupo de Trabajo 1/7
Fatiga en Hormigón
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. 978-84-89670-12-9

Trabajos editoriales: CINTER Divulgación Técnica

Prólogo

La Comisión I “Proyecto” de ACHE, en su reunión de 2 de diciembre de 2014, identificó una serie de temas que podrían tener un interés práctico para los proyectistas. Entre ellos, se señaló la fatiga en el hormigón, porque en la ingeniería civil son cada vez más las estructuras que se encuentran solicitadas a cargas de naturaleza cíclica. Las torres eólicas o las infraestructuras de las líneas de ferrocarril de alta velocidad son buenos ejemplos de estas estructuras. Así nació la idea de constituir un grupo de trabajo con expertos en la fatiga del hormigón, que se encargara de redactar un documento cuyo objetivo era, por un lado, proporcionar un estado del arte sobre fatiga en las estructuras de hormigón y, por otro lado, recopilar los aspectos más relevantes que deben considerarse para el proyecto de estructuras de hormigón sometidas a cargas cíclicas.

La constitución de este grupo de trabajo y la posterior coordinación del mismo fue encargada a Jesús Miguel Bairan. La convocatoria de expertos que quisieran participar de forma generosa en la redacción de este documento tuvo una gran acogida y permitió formar el grupo de trabajo GT I/7. La pluralidad de ámbitos en los que trabajan sus miembros ha permitido elaborar un documento muy completo tanto desde el punto de vista teórico como práctico sobre el tema de la fatiga en el hormigón.

El documento redactado por los miembros del grupo GT I/7 *Fatiga en Hormigón* ha cumplido holgadamente su objetivo ofreciendo al lector una panorámica amplia del fenómeno de la fatiga, que se extiende desde los conceptos básicos del proceso degenerativo debido a la aplicación de ciclos de carga y los métodos para su caracterización, hasta los métodos de dimensionamiento y verificación frente a fatiga. Por su carácter práctico, pueden resultar especialmente interesantes para los proyectistas los casos de estudio que se aportan en los capítulos 5 y 6.

A todos los miembros del grupo GT I/7 y especialmente a su coordinador, que además de participar activamente en la redacción ha conducido con éxito este trabajo, quiero expresar mi agradecimiento por el esfuerzo realizado. Agradecimiento que hago extensivo a los miembros de la Comisión I que han revisado este documento y aportado sus acertados comentarios para enriquecerlo.

Pedro Miguel
Presidente de la Comisión I “Proyecto”, de ACHE

Presentación

En los últimos años, las aplicaciones de hormigón estructural donde la posible falla por fatiga es relevante en el proyecto han aumentado considerablemente. Principalmente, esto puede ocurrir en estructuras que deben soportar maquinarias, tráfico, acciones ambientales (viento y oleaje), o una combinación de ellas, resultando en un alto número de ciclos de carga en las fases de operación durante la vida útil. Sin embargo, el tratamiento de este modo de falla en la literatura y las normativas relacionadas con el hormigón estructural son escasas y, en consecuencia, en la formación tradicional del ingeniero proyectista.

Ello motivó a la Comisión 1: Proyecto, de la Asociación de Española de Ingeniería Estructural, la formación del Grupo de Trabajo 1/7: Fatiga en Hormigón, con el encargo de desarrollar un documento que contribuya a dar respuesta a esta necesidad. Este grupo de trabajo inició sus actividades a finales de 2015. El presente documento es el resultado del trabajo de este grupo y nace con el objetivo de ofrecer una guía práctica sobre los principales aspectos relativos a la fatiga del hormigón estructural, desde aspectos de comportamiento material, caracterización experimental, criterios de proyecto y ejemplos de aplicación. Los aspectos que se tratan en los diferentes capítulos están actualizados de acuerdo al estado del conocimiento, resultado tanto de la investigación internacional como de los miembros del grupo y la aplicación en casos de prácticos.

En nombre de los integrantes del Grupo de Trabajo 1/7, esperamos que esta monografía sea útil a ingenieros y proyectistas, así como a estudiantes que necesiten una formación específica en esta materia.

Jesús Miguel Bairán

Coordinador del Grupo de Trabajo 1/7 "Fatiga en Hormigón" de ACHE

Grupo de trabajo

La presente monografía ha sido elaborada por los miembros del Grupo de Trabajo 1/7: Fatiga en Hormigón de la Asociación Española de Ingeniería Estructural (ACHE).

Miembros del Grupo de Trabajo 1/7: Fatiga en Hormigón en orden alfabético:

Jesús-Miguel **Bairán** (Coordinador), Universitat Politècnica de Catalunya

Héctor **Bernardo**, DRAGADOS

Héctor **Cifuentes**, Universidad de Sevilla

Ana **Lorea**, Ingeniería Zero

Jesús **Mínguez**, Universidad de Burgos

Climent **Molins**, Universitat Politècnica de Catalunya

Elisa **Poveda**, Universidad de Castilla-La Mancha

Carlos **Ríos**, Calter Ingeniería

Carlos **Thomas**, Universidad de Cantabria

Miguel-Ángel **Vicente**, Universidad de Burgos

Rena C. **Yu**, Universidad de Castilla-La Mancha

Índice

1. Introducción	9
1.1. Definiciones e interés de la fatiga en ingeniería civil.....	9
1.2. Concepto de vida de fatiga “N” y resistencia a fatiga “S”. Curvas S-N.....	10
1.3. Ciclos de carga variable. Concepto de daño	11
1.4. Principales parámetros que afectan a la resistencia a fatiga	12
1.4.1. Tipo de carga y su variación.....	12
1.4.2. Contenido de humedad	13
1.4.3. Influencia de las fibras en el comportamiento a fatiga del hormigón.....	13
1.5. La fatiga como un proceso degenerativo.....	13
1.5.1. Variación de la deformación con el número de ciclos.....	14
1.5.2. Variación del módulo de elasticidad con el número de ciclos	16
1.5.3. Variación de la resistencia a compresión con el número de ciclos	17
1.5.4. Fatiga Bi y Tridimensional	17
1.6. Comentarios generales	19
2. Comportamiento a fatiga de hormigones y morteros.....	21
2.1. Fatiga a compresión.....	21
2.1.1. Hormigón en masa	21
2.1.2. Hormigón reforzado con fibras	23
2.1.3. Morteros.....	24
2.2. Fatiga a flexotracción	24
2.2.1. Hormigón en masa	24
2.2.2. Hormigón con fibras	24
3. Recomendaciones para la caracterización a fatiga de hormigones	29
3.1 El límite de fatiga y la vida a fatiga	29
3.2 Tipo de onda y frecuencia	30
3.3 Probetas de ensayo	31
3.4 Método Locati.....	31
3.5 Método Staircase	38

3.5.1.	Ejemplo Staircase	41
3.5.2.	Resultados esperables: Evolución de la rigidez.....	42
3.5.3.	Límite a fatiga	43
3.6	Relación entre los métodos Locati y Staircase	44
4.	Dimensionamiento a fatiga.....	47
4.1.	Introducción	47
4.2.	Estado límite de fatiga.....	48
4.3.	Elementos sometidos a solicitaciones normales.....	50
4.3.1.	Cálculo seccional	50
4.3.2.	Resistencia del hormigón a compresión	53
4.3.3.	Resistencia de la armadura pasiva.....	59
4.3.4.	Elementos pretensados.....	62
4.4.	Elementos sometidos a solicitaciones tangenciales	68
4.4.1.	Comportamiento general.....	68
4.4.2.	Modelo de fatiga a cortante del Eurocódigo 2	69
4.4.3.	Modelo de fatiga a cortante del Código Modelo 2010.....	70
4.4.4.	Otros modelos de fatiga a cortante.....	71
4.5.	Regiones D	72
4.6.	Hormigón en estado multiaxial de tensiones	73
4.7.	Efectos de los ciclos de fatiga en las condiciones de servicio	75
4.8.	Interacción durabilidad y fatiga.....	76
4.9.	Resistencia a fatiga de rótulas plásticas.....	77
5.	Ejemplo de aplicación: vía en placa.....	79
5.1.	Introducción	79
5.2.	Exposición del problema	80
5.2.1.	Condiciones de contorno.....	80
5.2.2.	Análisis de cargas	80
5.3.	Modelo simplificado.....	81
5.3.1.	Análisis modal.....	81
5.3.2.	Análisis armónico	82
5.4.	Modelo detallado.....	83
5.4.1.	Análisis transitorio	84
5.5.	Post-proceso de análisis transitorio detallado	85
5.5.1.	Historia de tensiones principales.....	85
5.5.2.	Conteo de ciclos.....	86
5.5.3.	Acumulación de daño.....	86
5.5.4.	Mapa de daño e identificación de zonas desfavorables.....	87
5.6.	Conclusiones.....	87

6. Caso de estudio: torre eólica flotante.....	89
6.1. Introducción	89
6.2. Acciones consideradas	89
6.3. Geometría de la estructura.....	92
6.4. Características de los materiales y predimensionamiento	94
6.5. Obtención de los esfuerzos para la comprobación a fatiga.....	97
6.6. Conclusiones del caso de estudio	100
Referencias.....	101