

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

TESIS DOCTORAL

**CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE ESTRUCTURAS
DE HORMIGÓN ARMADO PRENORMATIVO. APRENDIZAJE
Y METODOLOGÍA DE ESTUDIO ORIENTADAS A SU
REHABILITACIÓN**

Autor:

D. IGNACIO MARCOS RODRÍGUEZ

Departamento de Ingeniería Mecánica

Universidad del País Vasco – Euskal Herriko Unibertsitatea

Directores:

Dr. JESÚS CUADRADO ROJO

Dr. JOSÉ TOMÁS SAN JOSÉ LOMBERA

Bilbao, Mayo 2014

*A mis padres, Javier y Carmen,
a mis hijos, Iñigo, Ander y Xabier,
y, muy especialmente, a Marta.*

AGRADECIMIENTOS

Este resulta uno de los instantes de mayor dificultad, puesto que no puede evitar la sensación de olvidarme de alguien. Quisiera comenzar este agradecimiento por los directores, J. Tomás San José y Jesús Cuadrado, sin cuyo entusiasta apoyo, ánimo e intenso trabajo, esta empresa no habría llegado a buen puerto. El marco financiero de la presente investigación, que se circunscribe al Gobierno Central (BIA2010-20789-C04-04) y al **Grupo Consolidado del Gobierno Vasco (IT781-13)**.

Para la redacción de esta Tesis Doctoral, he tenido la oportunidad de contar con la ayuda de varias empresas y profesionales. La que mayor documentación ha aportado, y sin cuyo apoyo no hubiera sido posible, ha sido LABEIN, hoy integrada en TECNALIA. La lista de compañeros con los que compartí trabajos y proyectos es inmensa, durante más de 15 años. De todos ellos aprendí, y a todos debo estar agradecido. A pesar de que seguramente me olvidaré alguno, no me resisto a citar a Jose Antonio S, Juan Ramón, Agurtzane, Enrique, Pedro, Juan Carlos, Montero y Javier Urreta, con los que comencé a aprender el oficio de la patología, y a José Luis Ramírez, que me abrió las puertas de esa casa. Para una etapa posterior quedan Santiago, Bengo, Javier J., Amaia, José Antonio F., Alex, Maider, Rubén, Isabel, Fran, María Z. María C., Izaskun, Silvia, Natalia, Luis, Nerea, Leire, David, Iñaki, Laura, Pello, José Ramón, Txus, Del Caz, Félix y Edu. También M^a Carmen, Teresa y Esti. Mi agradecimiento especial, por la ayuda recibida en esta última fase a Mikel Ezkerro, a Rosa San Mateos y a Jesús Díez. De todos los citados y de muchos más he aprendido, y me gustaría que esta Tesis en parte se lo pudiera devolver.

Nuevamente menciono a Juan Ramón Aurrekoetxea, pero también a Milagros Losañez, a Blanca Brea, a Marta Tomé, a Joseba Escribano, y a las propiedades implicadas, por la información facilitada, en especial al Ayuntamiento de Bilbao. El acceso a la información en la mayoría de los casos ha requerido de permisos específicos y se ha exigido el respeto a las cláusulas de confidencialidad, por lo que muchos de los informes continúan siendo del ámbito privado y confidencial. Sobre la Virgen de Orduña conté con aportaciones de Javier Eskubi y de José Lambarri, apasionado recopilador de la historia del monumento.

No quiero olvidarme de mis compañeros en la dirección de la EUITI de Bilbao, por su comprensión en los momentos esta aventura tiró con mucha fuerza, y a los que abandoné para centrarme en ella.

Para finalizar, quiero compartir este último párrafo con mis familiares más directos, que han sufrido mi dedicación a este proyecto, y especialmente con Marta y con Iñigo, Ander y Xabier. Ella sabe lo que es, pero eso no evita ni mi agradecimiento por su ayuda ni mi pesar por el tiempo robado. Gracias a todos por el apoyo y el amor recibido.

RESUMEN

Existe un gran número de construcciones en hormigón armado que se proyectaron y ejecutaron sin ningún amparo normativo, antes de las primeras normativas surgidas en España al final de la guerra civil. Hasta entonces, las estructuras de hormigón armado se diseñaban atendiendo a sistemas patentados, y a partir de mediada la segunda década del siglo XX, por normativas extranjeras.

El conocimiento de los sistemas de cálculo y construcción de esas épocas, permite establecer una referencia para la diagnosis de las patologías en esas estructuras. Asimismo resulta de interés ese conocimiento a la hora de abordar estudios previos orientados a la rehabilitación y al mantenimiento.

La primera parte de la Tesis Doctoral está orientada a exponer las circunstancias de la evolución del conocimiento acerca de las estructuras de hormigón en sus primeras etapas. Se contemplan algunas de las claves: evolución y alcance de las normativas, especificaciones sobre materiales y sistemas de cálculo empleados.

Una segunda parte se centra en el análisis sobre un total de veinticuatro estudios patológicos sobre estructuras comprendidas entre 1900 y la guerra civil, en el ámbito geográfico del País Vasco. Aunque los estudios son dispares en alcance, ensayos y contenidos, permiten establecer nexos comunes y analizar los problemas patológicos detectados, los relacionados con su vida útil, y con las propiedades de sus materiales, hormigón y acero.

Posteriormente se ha aplicado este conocimiento a un caso de estudio particular, la Alhóndiga de Bilbao, construida entre 1906 y 1909. Sobre este edificio existen dos informes sucesivos, en 1988 y 2001, además de una notable información documental sobre el proyecto original y sobre los trámites de su construcción. Así, se han reproducido los cálculos de acuerdo a la patente Blanc con la que está construido, para analizar su grado de cumplimiento. Dado que los resultados no fueron satisfactorios, se ha reproducido el cálculo mediante el método de Hennebique, el de la Circular Francesa de 1906 y mediante los métodos en rotura actuales.

Los aspectos tratados han derivado en valiosas enseñanzas aplicables tanto a la realización de estudios patológicos y estudios previos sobre estructuras de hormigón armado anteriores a la guerra civil, como a su conservación, al detectar las patologías de mayor incidencia y profundizar en su origen. Se analizan también los procesos seguidos en la realización de los estudios, con el ánimo de mejorarlos, aprendiendo tanto sobre el proceso de análisis, como de las estructuras estudiadas.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. Situación actual del sector de la construcción.	1
1.2. Estado actual del parque de viviendas.	4
1.3. Las estructuras de hormigón y el patrimonio cultural.....	5
1.4. Estructuras de hormigón hasta 1936.	6
1.5. Alcance.....	7
1.6. Objetivos.	8
1.7. Estructura y resumen de la tesis.	9
2. LOS ORÍGENES DEL HORMIGÓN ARMADO. LOS MÉTODOS BASADOS EN PATENTES Y SU PÉRDIDA DE VIGENCIA.	11
2.1. Orígenes del hormigón armado. Antecedentes y cementos.	11
2.1.1. De los morteros de cal al cemento Portland.	11
2.1.2. Los hormigones en masa.	14
2.1.3. La aparición del hormigón armado.....	16
2.2. Las primeras épocas del hormigón armado. Los sistemas patentados.	17
2.2.1. La patente.	18
2.2.2. Las patentes a nivel europeo.	19
2.2.3. La evolución en Estados Unidos.....	21
2.3. La introducción del Hormigón Armado en España.	24
2.3.1. La patente Monier en España: Antonio Macià y Claudio Durán.....	27
2.3.2. El sistema Hennebique.	28
2.3.3. José Eugenio Ribera y la Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles.	31
2.3.4. La Compañía de Sestao. Sistema Blanc.....	33
2.3.5. Las patentes de Zafra.	35
2.4. El declive del sistema de patentes.	37
2.5. Conclusiones.	42
3. INVESTIGACIÓN EN HORMIGÓN ARMADO. PRIMEROS ENSAYOS Y CONCLUSIONES ALCANZADAS.	45
3.1. Introducción.....	45
3.2. Primeras investigaciones y ensayos.	46
3.3. Fundamentos teóricos a finales del siglo XIX.	54
3.3.1. Leyes de comportamiento del hormigón armado en flexión.	55
3.3.2. Formulaciones teóricas.....	57
3.4. Formulaciones experimentales.	59
3.4.1. Flexión simple.	59
3.4.2. Compresión simple.	66

3.5. Conclusiones.....	67
4. PRIMERAS NORMATIVAS DEL HORMIGÓN ARMADO.....	69
4.1. Norma suiza (SIA) 1903.....	70
4.2. Norma suiza 1909.....	70
4.3. Norma alemana 1904.....	72
4.4. Norma prusiana 1904.....	73
4.5. Norma prusiana 1907.....	74
4.6. Norma italiana 1907.....	74
4.7. Circular Francesa de 1906.....	76
4.8. Norma estadounidense 1908.....	79
4.9. Norma estadounidense 1910.....	81
4.10. Análisis de las primeras normativas. Conclusiones.....	83
5. LA NORMATIVA ESPAÑOLA.....	89
5.1. Instrucciones reglamentarias para el empleo del cemento armado. Laboratorio del Material de Ingenieros del Ejército. 1912	89
5.2. Pliego de condiciones generales para la recepción de los cementos Portland artificiales, en los servicios de Obras Públicas. 1919.....	91
5.3. Condiciones facultativas especiales para las pequeñas obras de fábrica. 1922.....	92
5.4. Condiciones facultativas generales aplicables a todas las obras de hormigón armado. 1924.....	92
5.5. Pliego de condiciones generales para la recepción de los aglomerantes hidráulicos en las obras de carácter oficial. 1930.....	93
5.6. Instrucción de proyectos y obras de hormigón. 1939.....	94
5.7. Conclusiones.....	95
6. MÉTODOS DE CÁLCULO IMPLANTADOS EN ESPAÑA.....	99
6.1. Hennebique.....	99
6.2. Método Ribera.....	102
6.3. La Poutre Dalle. Sistema Blanc.....	104
6.4. Unciti.....	105
6.5. Jalvo.....	106
6.6. Seco de la Garza.....	108
6.7. Zafra y el fin de la época de patentes.....	109
6.8. Conclusiones.....	110

7. ANÁLISIS PATOLÓGICO ESTRUCTURAS PRENORMATIVAS. CASO DE LA CAPV.....	111
7.1. Introducción.....	111
7.2. Estudio patológico.....	112
7.3. Patologías en estructuras de hormigón.....	115
7.3.1. Degradación de los materiales.	116
7.3.2. Lesiones debidas a problemas de la propia estructura.....	117
7.4. Ensayos para la caracterización de los procesos patológicos.....	122
7.5. Estructuras de hormigón armado de la época prenormativa en la CAPV...	125
7.6. Casos analizados en la CAPV.	126
7.7. Ensayos realizados y resultados obtenidos.	138
7.7.1. Propiedades mecánicas de hormigón.....	145
7.7.2. Propiedades mecánicas de los aceros.	150
7.7.3. Recubrimiento y profundidad de carbonatación.	152
7.7.4. Contenido de cloruros.	158
7.7.5. Medidas electroquímicas.....	162
7.8. Estudios patológicos. Conclusiones parciales alcanzadas.	164
8. CASO DE ESTUDIO: LA ALHÓNDIGA CENTRAL DE BILBAO. .	169
8.1. Introducción.....	169
8.2. Breve reseña histórica.....	170
8.3. Documentación histórica.	175
8.3.1. El proyecto original.	177
8.3.2. El desarrollo de la obra.	180
8.3.3. El incendio de 1919.....	188
8.4. La estructura del edificio.....	192
8.4.1. Informe de patología 1988.	192
8.4.2. Informe de patología 2001.	201
8.4.3. Datos de armado y geometría de proyecto.....	208
8.4.4. Datos extraídos de la documentación del incendio.	213
8.5. Análisis resistente del proyecto.	214
8.5.1. Elementos estructurales de comparación: características geométricas y armados.	215
8.5.1.1 Losas.....	216
8.5.1.2 Vigas.	217
8.5.1.3 Pilares.	219
8.5.2. Cálculo de armaduras según el sistema Blanc.....	220
8.5.2.1 Losas.....	220
8.5.2.2 Vigas.	223
8.5.2.3 Pilares.....	225
8.5.3. Cálculo de armaduras según el sistema Hennebique.....	225
8.5.3.1 Losas.....	226
8.5.3.2 Vigas.	227

8.5.3.3 Pilares.....	229
8.5.4. Cálculo de armaduras según el sistema de las tensiones admisibles.....	231
8.5.4.1 Losas.....	231
8.5.4.2 Vigas.....	234
8.5.4.3 Pilares.....	237
8.5.5. Estimación de armaduras a través de los datos de ensayo.....	239
8.5.5.1 Losas.....	241
8.5.5.2 Vigas.....	241
8.5.5.3 Pilares.....	245
8.5.6. Discusión de resultados obtenidos.....	245
8.5.6.1 Losas.....	246
8.5.6.2 Vigas.....	247
8.5.6.3 Pilares.....	249
8.6. Datos constructivos de los trabajos de campo.....	250
8.6.1. Vigas.....	250
8.6.2. Pilares.....	251
8.7. Conclusiones.....	254
9. CONCLUSIONES.....	261
BIBLIOGRAFÍA.....	269
ANEJO I: ESTUDIOS SOBRE ESTRUCTURAS HASTA 1939. PANORAMA INTERNACIONAL.....	285
ANEJO II: RECOPIACIÓN DE FICHAS SOBRE ESTUDIOS PATOLÓGICOS.....	295