

Índice

| | |
|---|----|
| Leyenda de siglas, abreviaturas y convenciones..... | 19 |
| 1. ESTADO DE LA CUESTIÓN..... | 21 |
| 1.1. La estructura y el cálculo estructural..... | 21 |
| 1.1.1. La dimensión técnica de la arquitectura..... | 21 |
| 1.1.2. La estructura..... | 21 |
| 1.1.3. El cálculo estructural..... | 22 |
| 1.2. Breve reseña histórica del cálculo estructural..... | 24 |
| 1.2.1. Los componentes de la evolución del cálculo estructural..... | 24 |
| 1.2.2. La Edad Antigua..... | 25 |
| 1.2.3. La Edad Media..... | 27 |
| 1.2.4. La Edad Moderna..... | 27 |
| 1.2.5. La Revolución Industrial..... | 33 |
| 1.2.6. El siglo XX..... | 37 |
| 1.3. El cálculo estructural con ordenador..... | 41 |
| 1.3.1. Orígenes..... | 41 |
| 1.3.2. Evolución..... | 42 |
| 1.3.3. Incorporación a la docencia..... | 47 |
| 1.3.4. Particularidades..... | 48 |
| 1.3.4.1. Preprocesado..... | 48 |
| 1.3.4.2. Procesado..... | 49 |
| 1.3.4.3. Postprocesado..... | 50 |
| 1.3.4.4. Extracción de resultados..... | 51 |
| 1.4. Los programas informáticos disponibles en la actualidad | 51 |
| 1.4.1. El mercado internacional..... | 51 |
| 1.4.2. El mercado español..... | 53 |
| 1.5. La elección de un programa informático de cálculo estructural en el mercado español..... | 54 |
| 1.5.1. La necesidad de un programa de cálculo de estructuras..... | 54 |
| 1.5.2. Casuística y problemática en la elección..... | 55 |
| 1.5.3. Funcionalidad de un programa informático..... | 57 |
| 1.5.4. Fiabilidad..... | 59 |
| 1.5.4.1. La fiabilidad de la estructura..... | 60 |
| 1.5.4.1.1. Concepto de fiabilidad de la estructura..... | 60 |
| 1.5.4.1.2. Evolución de los métodos de cálculo hasta el cálculo estocástico..... | 61 |
| 1.5.4.1.3. El cálculo estocástico y los programas de cálculo de estructuras..... | 63 |
| 1.5.4.2. La fiabilidad del proceso de cálculo mediante ordenador..... | 64 |

| | |
|--|-----|
| 1.5.4.3. La fiabilidad del programa de cálculo estructural..... | 66 |
| 1.6. El estudio de la fiabilidad de los programas de cálculo de estructuras..... | 67 |
| 1.6.1. Verificación, validación y evaluación..... | 67 |
| 1.6.2. La responsabilidad del estudio de la fiabilidad de los programas de cálculo..... | 68 |
| 1.6.3. La bibliografía sobre la fiabilidad de los programas de cálculo de estructuras por ordenador desde 1985 a 2015..... | 68 |
| 1.6.4. La importancia de comparar resultados..... | 72 |
| 1.6.5. Una retrospectiva de estudios de fiabilidad de programas de cálculo de estructuras..... | 74 |
| 1.6.5.1. El estudio de Chalabi de 1978..... | 74 |
| 1.6.5.2. Los test de verificación de Melosh y Utku de 1988..... | 75 |
| 1.6.5.3. La tesis de Dharmesh R. Divecha y la ponencia de Rojani, White y Hemler de 1994.... | 76 |
| 1.6.5.4. La comparativa de programas de cálculo mediante elementos finitos de Gendron de 1997... | 79 |
| 1.6.5.5. La herramienta de evaluación de programas de cálculo de hormigón armado de Gensichen y Lumpe de 2008..... | 80 |
| 1.6.5.6. La comparativa del comportamiento de tres programas en cálculo estático no lineal de Pereira, Barros y Cesar de 2010..... | 81 |
| 1.6.5.7. La comparativa del comportamiento de cuatro programas en cálculo sísmico de edificios en altura de Hu, Yang, Mu y Qu de 2012..... | 82 |
| 1.6.5.8. Últimos estudios y pautas comunes..... | 83 |
| 1.7. Bancos de pruebas..... | 84 |
| 1.7.1. Definición..... | 84 |
| 1.7.2. Aparición y evolución..... | 85 |
| 1.7.3. Tipologías..... | 86 |
| 1.7.4. Campos científicos y tecnológicos en los que se aplican..... | 88 |
| 1.7.5. Criterios de elaboración..... | 94 |
| 2. UTILIDAD Y CONVENIENCIA..... | 97 |
| 2.1. La evaluación de cualquier producto informático..... | 97 |
| 2.2. Las pautas para la cuantificación de la fiabilidad..... | 98 |
| 2.3. Objetivos de la tesis doctoral..... | 98 |
| 3. PROCESO DE DISEÑO..... | 101 |
| 3.1. Selección de la técnica de investigación..... | 101 |
| 3.1.1. Clasificación de las técnicas de investigación..... | 101 |
| 3.1.2. Criterios de selección de la técnica de investigación..... | 102 |
| 3.1.2.1. Naturaleza del objeto del estudio..... | 102 |
| 3.1.2.2. Controlabilidad de variables..... | 103 |

| | |
|--|-----|
| 3.1.2.3. Generalizabilidad de resultados..... | 103 |
| 3.1.3. El experimento formal..... | 104 |
| 3.1.4. El estudio de caso..... | 104 |
| 3.1.5. El sondeo..... | 105 |
| 3.2. Un banco de pruebas basado en un estudio de caso... | 106 |
| 3.2.1. Etapas en el diseño y aplicación de un estudio de caso..... | 107 |
| 3.2.2. Definición de la hipótesis..... | 107 |
| 3.2.2.1. Bases teóricas..... | 107 |
| 3.2.2.2. Aplicación al banco de pruebas..... | 108 |
| 3.2.3. Selección del proyecto piloto..... | 109 |
| 3.2.3.1. Representatividad del proyecto piloto..... | 109 |
| 3.2.3.2. Modelo único o submodelos..... | 114 |
| 3.2.3.3. Número de casos a ensayar..... | 117 |
| 3.2.3.4. Características del proyecto piloto..... | 118 |
| 3.2.3.4.1. Una estructura de barras..... | 118 |
| 3.2.3.4.2. Selección de la geometría y las dimensiones..... | 119 |
| 3.2.3.4.3. Vínculos internos y vínculos externos..... | 122 |
| 3.2.3.4.4. Materiales estructurales..... | 124 |
| 3.2.3.4.5. Morfología y dimensiones de las secciones..... | 125 |
| 3.2.3.4.6. Hipótesis y combinaciones de cargas..... | 127 |
| 3.2.3.4.7. Arriostramiento y traslacionalidad..... | 169 |
| 3.2.3.4.8. Tipo de cálculo..... | 175 |
| 3.2.3.5. Análisis del proyecto piloto..... | 177 |
| 3.2.3.5.1. Introducción del modelo de cálculo..... | 177 |
| 3.2.3.5.2. Cálculo en primer orden, elástico y lineal..... | 183 |
| 3.2.3.6. Comprobación del dimensionado del proyecto piloto..... | 184 |
| 3.2.3.6.1. Viguetas de cubierta dimensionadas con IPE-200..... | 186 |
| 3.2.3.6.2. Evaluación de esfuerzos producidos por arriostramiento lateral del sistema principal..... | 193 |
| 3.2.3.6.3. Viguetas de cubierta dimensionadas con IPE-270..... | 195 |
| 3.2.3.6.4. Diagonales dimensionadas con Ø25..... | 203 |
| 3.2.3.6.5. Soportes y vigas dimensionados con IPE-450..... | 207 |
| 3.2.4. Identificación del método de comparación..... | 218 |

| | |
|--|-----|
| 3.2.4.1. Tipología de métodos de comparación..... | 218 |
| 3.2.4.2. Elección de un estándar de comparación común..... | 219 |
| 3.2.4.3. Definición de los puntos y parámetros de control..... | 219 |
| 3.2.5. Minimización del efecto de factores de confusión | 229 |
| 3.2.5.1. Interferencia del proceso de aprendizaje.. | 229 |
| 3.2.5.2. Influencia de la actitud del colaborador... | 230 |
| 3.2.5.3. Comparabilidad cuestionable..... | 231 |
| 3.2.5.4. Factores de confusión específicos del banco de pruebas..... | 231 |
| 3.2.6. Planificación del estudio de caso..... | 233 |
| 3.2.6.1. Criterios de elaboración..... | 233 |
| 3.2.6.2. Consideraciones y actuaciones previas.... | 235 |
| 3.2.6.3. Etapas del uso del banco de pruebas..... | 236 |
| 3.2.6.3.1. Preprocesado..... | 236 |
| 3.2.6.3.2. Procesado..... | 238 |
| 3.2.6.3.3. Primera toma de datos..... | 238 |
| 3.2.6.3.4. Postprocesado..... | 238 |
| 3.2.6.3.5. Segunda toma de datos..... | 239 |
| 3.2.6.3.6. Conclusiones..... | 239 |
| 3.2.7. Monitorización del estudio de caso..... | 239 |
| 3.2.8. Análisis e informe de resultados..... | 240 |
| 4. DEFINICIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS..... | 243 |
| 4.1. Comentarios previos..... | 243 |
| 4.2. Manual del usuario del banco de pruebas..... | 245 |
| 4.3. Verificación del proceso mediante el check list de Kitchenham, Pickard y Pfleeger..... | 293 |
| 4.3.1. Contexto del estudio de caso..... | 293 |
| 4.3.2. Establecimiento de la hipótesis..... | 294 |
| 4.3.3. Planificación..... | 294 |
| 4.3.4. Validación de la hipótesis..... | 295 |
| 4.3.5. Análisis de resultados..... | 296 |
| 5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN..... | 299 |
| 5.1. Comparativa de la fiabilidad de tres programas de cálculo de estructuras de edificación del mercado español | 299 |
| 5.2. Características y prestaciones de los softwares objeto de análisis..... | 300 |
| 5.2.1. Requerimientos del equipo y sistemas operativos compatibles..... | 300 |
| 5.2.2. Estructuración del programa..... | 301 |
| 5.2.2.1. CYPECAD®..... | 301 |
| 5.2.2.2. Tricalc®..... | 303 |
| 5.2.2.3. Architrave®..... | 304 |
| 5.2.3. Entorno de trabajo..... | 305 |
| 5.2.3.1. Idiomas..... | 305 |

| | |
|--|-----|
| 5.2.3.2. Aspecto de la pantalla..... | 305 |
| 5.2.4. Preprocesado. Introducción de datos..... | 308 |
| 5.2.4.1. Visión del modelo estructural..... | 308 |
| 5.2.4.2. Geometría de la estructura..... | 311 |
| 5.2.4.3. Vínculos externos..... | 321 |
| 5.2.4.4. Materiales..... | 325 |
| 5.2.4.5. Acciones..... | 327 |
| 5.2.4.6. Exportación del modelo..... | 333 |
| 5.2.5. Procesado. Análisis estructural..... | 334 |
| 5.2.5.1. Normativa considerada..... | 334 |
| 5.2.5.2. Hipótesis de partida..... | 335 |
| 5.2.5.3. Método..... | 338 |
| 5.2.5.4. Extracción de resultados..... | 341 |
| 5.2.5.5. Importación y exportación del modelo... | 351 |
| 5.2.6. Postprocesado. Dimensionado, comprobación y armado..... | 352 |
| 5.2.6.1. Hormigón armado..... | 352 |
| 5.2.6.2. Acero..... | 355 |
| 5.2.6.3. Madera..... | 356 |
| 5.2.6.4. Edición de resultados..... | 357 |
| 5.2.6.5. Peritaje..... | 358 |
| 5.2.6.6. Listados de datos de comprobaciones.... | 359 |
| 5.2.7. Extracción de documentación..... | 360 |
| 5.2.7.1. Planos..... | 360 |
| 5.2.7.2. Memoria de cálculo..... | 363 |
| 5.2.7.3. Mediciones..... | 364 |
| 5.3. Aplicación del banco de pruebas a la versión 2012.a del Generador de Pórticos y Nuevo Metal 3D de CYPECAD® | 364 |
| 5.3.1. Desarrollo de la experimentación..... | 365 |
| 5.3.2. Ficha de resultados cumplimentada..... | 371 |
| 5.3.3. Calificación final y conclusiones..... | 376 |
| 5.4. Aplicación del banco de pruebas a la versión 7.3 del Tricalc®..... | 377 |
| 5.4.1. Desarrollo de la experimentación..... | 377 |
| 5.4.2. Ficha de resultados cumplimentada..... | 384 |
| 5.4.3. Calificación final y conclusiones..... | 389 |
| 5.5. Aplicación del banco de pruebas a la versión 1.7 del Architrave 2011®..... | 390 |
| 5.5.1. Desarrollo de la experimentación..... | 390 |
| 5.5.2. Ficha de resultados cumplimentada..... | 398 |
| 5.5.3. Calificación final y conclusiones..... | 403 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 405 |
| 6.1. Relativas a la conveniencia de la existencia y utilización de un banco de pruebas..... | 405 |
| 6.2. Relativas a los criterios y al proceso de creación del banco de pruebas..... | 407 |

| | |
|---|-----|
| 6.3. Relativas a la utilización del banco de pruebas..... | 408 |
| 6.4. Relativas a la calificación de la fiabilidad..... | 410 |
| 7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN..... | 413 |
| Bibliografía..... | 415 |
| Índice de tablas..... | 423 |
| Índice de ilustraciones..... | 425 |