

# **TESIS DOCTORAL**

Doctorando:

**Jorge Aragón Fitera**

Director de tesis:

**Juan B. Pérez Valcárcel**

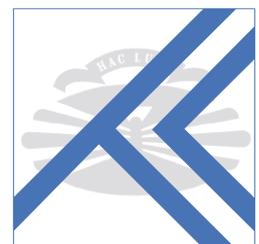
## **ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA PATOLOGÍA DE FORJADOS DE HORMIGÓN ARMADO EN LA EDIFICACIÓN GALLEGA.**

TESIS DOCTORAL

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA PATOLOGÍA DE  
FORJADOS DE HORMIGÓN ARMADO  
EN LA EDIFICACIÓN GALLEGA**

Doctorando:  
**Jorge Aragón Fitera**

Director de Tesis:  
**Juan B. Pérez Valcárcel**



UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA  
Departamento de Tecnología de la Construcción

## AGRADECIMIENTOS

Si a alguien tengo que estar sinceramente agradecido de haber llegado hasta donde estoy en mi carrera profesional es a mis padres, sin cuyo constante apoyo y esfuerzo económico durante mi etapa de estudiante, nunca hubiera podido llegar tan siquiera a ser arquitecto.

Un trabajo de investigación es siempre fruto de ideas, proyectos y esfuerzos previos que corresponden a otras personas. En esta línea quiero agradecer de forma expresa la aportación que han supuesto todos los arquitectos integrantes del Convenio IGVS-CAT-COAG, especialmente a los inspectores que realizaron la ardua labor de recogida de datos y la elaboración de los informes técnicos de inspección; con ellos tuve el gusto de trabajar y aprender.

Expresar mi agradecimiento al Director de esta Tesis Dr. Juan Bautista Pérez Valcárcel por la aportación desde su experiencia, por el asesoramiento científico y los comentarios técnicos que han optimizado el presente trabajo.

## INDICE

### 1.- INTRODUCCIÓN.

- 1.1 - OBJETO DE LA TESIS
- 1.2 - CRONOLOGÍA BÁSICA
- 1.3 - TRABAJO PREVIO DESARROLLADO POR LA C.A.T.
- 1.4 - TRABAJO PERSONAL CORRESPONDIENTE A ESTA TESIS
- 1.5 - HIPÓTESIS DE TRABAJO

### 2.- ANTECEDENTES.

- 2.1 - LA INSPECCIÓN TÉCNICA DE EDIFICIOS.
  - 2.1.1 - Antecedentes históricos.
  - 2.1.2 - Estado actual.
  - 2.1.3 - Perspectiva y necesidad
- 2.2 - ESTUDIOS ESTADÍSTICOS SOBRE PATOLOGÍA.
  - 2.2.1 - Estadísticas europeas.
  - 2.2.2 - Estadística española: J.A. Vieitez – 1984.
  - 2.2.3 - Estadística española: Grupo Español del Hormigón - 1992.
  - 2.2.4 - Estadística española: J. Escribano Villán – 1993.
  - 2.2.5 - Estadística española: V. Lamas López – 2001.
  - 2.2.6 - Estadística española: ASEMAS.
  - 2.2.7 - Resumen y conclusiones.
- 2.3 - CONCEPTOS PREVIOS SOBRE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL.
  - 2.3.1 - Problemática actual de la patología.
  - 2.3.2 - Clasificación de los daños
    - 2.3.2.1 - Daños de origen físico.
      - 2.3.2.1.a- El agua del suelo.
      - 2.3.2.1.b- La influencia de la atmósfera.
    - 2.3.2.2 - Daños de origen químico.
      - 2.3.2.2.a- El hormigón y sus componentes.
      - 2.3.2.2.b- La corrosión metálica.
      - 2.3.2.2.c- La carbonatación.
    - 2.3.2.3 - Daños de origen mecánico.
      - 2.3.2.3.a- Debido al cálculo.
      - 2.3.2.3.b- Debido al proyecto.
      - 2.3.2.3.c- Debido a la ejecución.
      - 2.3.2.3.d- Debido a los materiales.
      - 2.3.2.3.e- Debido al uso y mantenimiento.

## 2.4 - EVOLUCIÓN DE LA NORMATIVA EN LOS FORJADOS DE HORMIGÓN.

- 2.4.1 - La deformación en los forjados
- 2.4.2 - La durabilidad del hormigón

## **3.- ESTUDIO ESTADISTICO.**

### 3.1 - MARCO DE INVESTIGACIÓN.

- 3.1.1 - Planteamiento de la investigación
- 3.1.2 - Población y muestra del estudio
- 3.1.3 - Representatividad de la muestra
- 3.1.4 - Tipos de variables: independientes / dependientes
- 3.1.5 - Medida de las variables
- 3.1.6 - Limitaciones estadísticas
- 3.1.7 - Inferencias estadísticas

### 3.2 - APLICACIÓN INFORMÁTICA DICTEC-G.

- 3.2.1 - Estructura de la aplicación
- 3.2.2 - Descripción del programa
- 3.2.3 - Ficha tipo de una lesión

### 3.3 - TRATAMIENTO INFORMÁTICO DE DATOS.

- 3.3.1 - Estructura y datos de la base de datos BeDeCe
- 3.3.2 - Estructura y variables de la base de datos Ctr

## **4.- ANALISIS DE VARIABLES E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.**

- 4.1 - ANÁLISIS DE LA PATOLOGÍA GLOBAL DEL EDIFICIO
- 4.2 - ANÁLISIS DE LA PATOLOGÍA GENERAL DE LA ESTRUCTURA
- 4.3 - ANÁLISIS DE LA PATOLOGÍA PARTICULAR EN LOS FORJADOS

## **5.- CONCLUSIONES FINALES.**

- 5.1 - CONCLUSIONES
- 5.2 - COMPARATIVA CON OTROS ESTUDIOS ESTADISTICOS
- 5.3 - COROLARIO

## **6.- BIBLIOGRAFÍA.**

- 6.1 - Reseñas bibliográficas
- 6.2 - Bibliografía general por autores
- 6.3 - Bibliografía general por títulos
- 6.4 - Normativa referenciada.

*SI ALGO PUEDE FALLAR...SIN LUGAR A DUDAS FALLARÁ*  
Primera Ley de Murphy

## 1.- INTRODUCCION.

1.1 – OBJETO DE LA TESIS

1.2 – CRONOLOGÍA BÁSICA

1.3 – TRABAJO PREVIO DESARROLLADO POR LA C.A.T.

1.4 – TRABAJO PERSONAL CORRESPONDIENTE A ESTA TESIS

1.5 – HIPOTESIS DE TRABAJO

## 1.1 – OBJETO DE LA TESIS.



Aunque el título de esta tesis no lo mencione, tanto la base de datos manejada, como el desarrollo y las conclusiones de la misma están íntimamente vinculados al mayor proceso de Inspección Técnica de Edificios (ver Capítulo 2.1) que se ha desarrollado en Galicia hasta el momento actual.

Durante aquel proceso de inspección de edificios surgió la reflexión de que, en el ámbito de la patología estructural de edificación, resultan muy escasos tanto los estudios estadísticos previos (ver Capítulo 2.2) como la bibliografía analítica por áreas geográficas determinadas, por tipologías constructivas, con métodos homogéneos y, por supuesto, totalmente inexistente en la comunidad gallega.

Si bien es cierto que existe numerosa bibliografía genérica sobre patología estructural (ver Capítulo 2.3), ésta casi siempre se enfoca desde el punto de vista de la relación causa-efecto; es decir, dada una lesión, analizar su origen y su posible reparación.

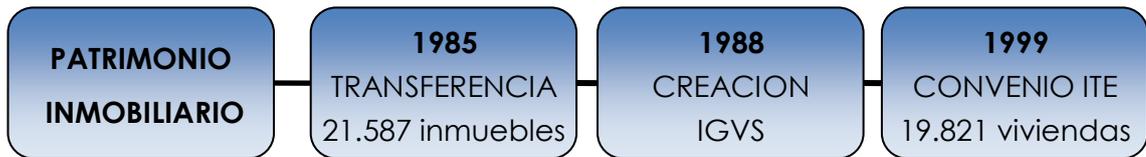
Por otro lado, es una realidad que no existe bibliografía que relacione la evolución histórica de las exigencias normativas (ver Capítulo 2.4) con su incidencia real en la disminución de la patología correspondiente.

Por lo tanto, la originalidad de la presente tesis consiste en afrontar la investigación estadística sobre patología estructural en la edificación gallega, realizada por el profesor Jorge Aragón Fitera, tutorado por el Catedrático D. Juan B. Pérez Valcárcel.

Dada la inabarcable extensión de los sistemas constructivos, tanto el cuerpo como las conclusiones de esta tesis se centrarán fundamentalmente en los forjados de hormigón armado, tras demostrarse previamente la elevada incidencia de los mismos en el cómputo de la patología edificatoria.



## 1.2 – CRONOLOGÍA BÁSICA.



- El Real Decreto 1926/1985 publicado en el B.O.E. nº253 de 22 de octubre, determina el traspaso de funciones y servicios en materia de Patrimonio Inmobiliario (funcionariado, dependencias administrativas, inmuebles y terrenos programados), desde el Instituto de Promoción Pública de Vivienda (IPPV) a la Comunidad Autónoma.

En el propio documento se anexa el listado de los 21.587 inmuebles transferidos que incluían 19.821 viviendas, siendo la diferencia locales y edificaciones complementarias.

- Efectuadas las transferencias fue necesario crear un órgano autonómico que, por su naturaleza, tuviera capacidad funcional suficiente para gestionar dicho patrimonio. Así, el Parlamento de Galicia aprueba la Ley 3/1988, de 27 de abril, la cual regula la creación del Instituto Galego da Vivenda e Solo (IGVS), adscrito a la Consejería de Ordenación del Territorio y Obras Públicas.

Una década después, el nº 210 del Diario Oficial de Galicia, mediante el Decreto 275/1999 de 14 de octubre, regula la reparación de edificios de viviendas de protección oficial de promoción pública, las cuales formaban parte de la transferencia patrimonial citada. En el apartado Disposiciones Generales, dice textualmente:

*"Las técnicas constructivas, los materiales empleados en la construcción y la propia antigüedad de las edificaciones transferidas aconsejan, hoy en día, llevar a cabo una serie de actuaciones encaminadas a mejorar su estado de conservación y mantenimiento."*

- Finalmente, el 17 de diciembre de 1999, y con el fin de obtener una información actualizada y sistemática sobre el estado de conservación de su parque inmobiliario, el Instituto Gallego de la Vivienda y Suelo (IGVS) firma con el Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia (COAG) un Convenio para la Inspección Técnica de 778 Edificios, que suponían un total de 19.821 viviendas.

El Colegio de Arquitectos, por su parte, derivó la gestión de estas Inspecciones Técnicas a su Comisión de Asesoramiento Tecnológico (CAT).

### 1.3 – TRABAJO PREVIO DESARROLLADO POR LA C.A.T.



Para velar por la calidad de los trabajos realizados dentro de dicho Convenio IGVS-COAG, responsables de ambos organismos se integraron en una Comisión de Seguimiento, la cual fijó el Plan de Trabajo que se desarrollaría desde la Comisión de Asesoramiento Tecnológico (CAT) durante el bienio 2000/01.

**COORDINACION DE EQUIPOS:** Para la gestión de los equipos de trabajo, fui contratado por la CAT, mediante concurso de méritos, como Supervisor del Convenio. Mi misión consistía básicamente en coordinar el trabajo de campo de los arquitectos contratados, supervisar la adecuación de los informes a los criterios preestablecidos, asesorar a los equipos de arquitectos ante problemas específicos de patología estructural y proceder a su visado colegial.

**VOLUMEN EDIFICATORIO A INSPECCIONAR:** si bien es cierto que inicialmente el Convenio planteaba la Inspección de los 778 Edificios (19.821 viviendas) que conformaban el patrimonio transferido, hay que aclarar que, finalmente, se procedió a la inspección de 746 edificios (19.095 viviendas) en toda Galicia. La diferencia, exactamente 32 edificios, fueron descartados de la inspección por diversos problemas ajenos a la CAT (comunidades inmersas en procesos judiciales, negativa expresa de los vecinos a la inspección y otros).

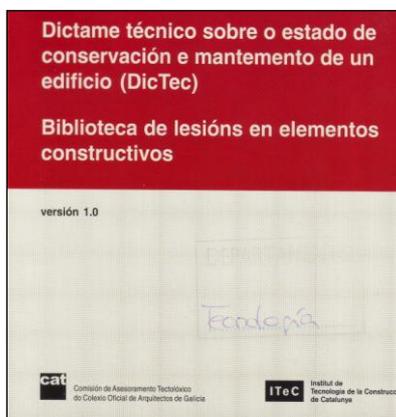
Así pues, determinada la población inicial (edificios de viviendas de promoción pública en Galicia, con estructura de hormigón armado) se puede considerar la muestra analizada suficientemente representativa y aleatoria (se desconocía de antemano el estado del edificio en la mayor parte de los casos) con un grado de fiabilidad del orden del 96% (ver Capítulo 3.1).

**EQUIPOS DE TRABAJO:** Cada equipo estaba integrado por dos arquitectos. Para ello, cuarenta arquitectos fueron seleccionados inicialmente por la CAT entre más de doscientos candidatos, en función de su experiencia en el campo específico de la redacción de informes de inspección y la patología de edificios. Se organizaron cursos de formación específicos para ellos, con tal rigor y seriedad que han ido evolucionando hasta convertirse, hoy en día, en Curso de Postgrado avalado por la Universidad de A Coruña.

El equipo realizaba las visitas necesarias al edificio encomendado, teniendo que incluir la inspección de al menos el 70% de sus viviendas, procediendo a una recogida de datos sistemática de acuerdo con los requerimientos exigidos por la CAT. A continuación, redactaban un dictamen técnico sobre el estado de conservación en el que se encuentran los inmuebles, sus posibles lesiones, la solución recomendada y la valoración estimada de su reparación.

Estos trabajos, tras ser supervisados por la CAT, que en su caso podía devolver el trabajo al equipo redactor para su rectificación o ampliación, recibían el visado correspondiente y, posteriormente, se enviaban periódicamente al Instituto Galego da Vivenda e Solo.

**INFORMES DE INSPECCION TECNICA:** Los informes, individualizados por edificio, se redactaron de acuerdo con un manual específico confeccionado por la propia CAT (en cuya redacción intervine como Supervisor del Convenio), lo que garantizaba la existencia de unos criterios comunes básicos para la evaluación y catalogación de lesiones.



Además, para conseguir la homogeneidad entre los equipos de trabajo, en cuanto a la profundidad, organización y sistematización de los datos, se utilizó la aplicación informática DicTec (ver Capítulo 3.2).

Ésta permitía no solo gestionar los dictámenes sino que además, por defecto, generaba una base de datos interna (ver Capítulo 3.3). La explotación estadística de dicha base de datos y su análisis conforman el núcleo de esta tesis.

**INFORME FINAL DEL CONVENIO:** realizado con carácter confidencial (por lo que no es posible adjuntarlo a esta tesis), recogía información estadística genérica (sin incluir la patología estructural objeto de esta tesis), encaminada a conocer el estado real de conservación del patrimonio inmobiliario y, lo que resultaba más relevante para el IGVS, establecer una previsión económica de las futuras reparaciones.

## 1.4 – TRABAJO PERSONAL CORRESPONDIENTE A ESTA TESIS

La última fase, que es el objeto de esta tesis y la aportación original, consistió en el análisis y la cuantificación estadística de la inmensa base de datos generada por la aplicación informática DicTec, con vistas a determinar la frecuencia con la que se producen determinados daños estructurales, correlacionando la patología con sus causas externas y el origen que los motivan y concretando las conclusiones en el campo específico de los forjados de hormigón armado.

Para esto, el desarrollo de esta Tesis se ha estructurado en tres niveles consecutivos (ver Capítulo 4):

A) Análisis global sobre el parque inmobiliario gallego, analizándose los edificios por Subsistemas Constructivos. Este primer análisis demostrará que el mayor porcentaje de las lesiones se origina en el Subsistema Estructura.

B) Análisis general de los principales elementos estructurales (forjados, vigas, voladizos, pilares, muros y cimentación), con el fin de demostrar que el forjado es, con gran diferencia, el elemento más vulnerable de la estructura.

C) Análisis particularizado sobre la casuística de las lesiones en el ámbito de los forjados de hormigón armado.

Se pretende que los resultados analíticos obtenidos en esta tesis puedan orientar hacia las medidas correctoras necesarias en el ámbito de la responsabilidad, de la seguridad, de la calidad y de la economía, y puedan resultar útiles, tanto para evitar que vuelvan a producirse patologías de este tipo en el ámbito profesional, como para difundirlas en el ámbito docente de las escuelas de arquitectura.

Este deseo parte de la observación de la realidad cotidiana, donde los errores se tienden a ocultar, y en ningún caso a publicitar, por parte de todos los agentes implicados, desde el constructor hasta las aseguradoras, pasando por los diferentes técnicos y los propios colegios profesionales. Todo esto conlleva que los nuevos profesionales que se incorporan al mercado laboral no puedan aprender de la reiteración de errores ya conocidos, los cuales siempre acaban pagando los usuarios finales de las viviendas.

## 1.5 – HIPOTESIS DE TRABAJO

Partiendo de la experiencia propia adquirida durante el trabajo de campo y en consonancia con los estudios estadísticos previos realizados hasta el presente (ver Capítulo 2.2), las hipótesis de partida son:

- La población de estudio se refiere a edificación de uso exclusivamente residencial en las provincias gallegas, construidas entre 1955 y 1992, realizadas con estructura de hormigón armado y con características tipológicas y edificatorias similares. Se omiten en la presente tesis otras tipologías estructurales (acero laminado y fábrica) al resultar una población insignificante.



- Se han descartado las escasas lesiones que se han considerado derivadas de los accidentes naturales de viento, reformas incontroladas de los propios usuarios, impactos de tráfico en garajes, incendios, etc.



- Con el fin de obtener una estadística sistemática, esto es, generar datos susceptibles de ser obtenidos de nuevo por otro observador, se establecerán diversos índices numéricos para el cálculo estadístico; variables lógicas, variables numéricas (con medidas de tendencia y/o dispersión) y variables cualitativas (con índices de correlación y de contingencia).



- Muchos de los casos de lesiones detectados durante las inspecciones presentan generalmente la combinación de diferentes causas o síntomas. Si bien es cierto que, a la hora de catalogar las lesiones, lo que se indica es tan solo la principal, también ocurre que, en otros gráficos y tablas, la suma de porcentajes superan el valor del 100%.



- En términos generales no ha sido posible acceder al proyecto original (planos, cálculos, memorias, etc.). Esto puede dificultar objetivar el origen último de las lesiones. Por ejemplo: en una lesión por asiento, no se puede objetivar a priori si se trata de un problema de dimensionado erróneo o la falta de estudio geotécnico. No obstante, sí es posible discernir el error común: fallo de cimentación.



- Paralelamente a lo anterior surge el problema de las responsabilidades compartidas por lo técnicos, dada la ausencia de pruebas de laboratorio, ensayos, realización de catas, etc. Por ejemplo: en el caso de una corrosión de armaduras no resulta posible objetivar si la causa se debió a la ausencia de separadores, a un mal vibrado u otras. No obstante, sí se puede inferir el error común: efecto de la ejecución material.



- La inspección realizada por los arquitectos ha sido meramente visual en la mayor parte de los casos y con el consentimiento expreso de sus propietarios. La condición impuesta inicialmente a los equipos de trabajo para la aceptación del informe era inspeccionar al menos un 70% de las viviendas de cada edificio.



- Para valorar los costos de reparación de las lesiones que figuran en los informes, y por extensión, las estadísticas extrapoladas al respecto, hay que aclarar que se fijó como referencia común en todos los informes de inspección técnica la Base de Precios de la Construcción de Galicia.



En cualquier caso, esta Tesis intenta mostrar la problemática real de la construcción y la patología estructural en el ámbito gallego. Por lo tanto, los resultados obtenidos se deben interpretar con objetividad, sin extraer conclusiones generalistas fuera de contexto, como portadores de unas determinadas órdenes de magnitud y que van más allá de las propias cifras estadísticas.

## 2.- ANTECEDENTES.

- 2.1- LA INSPECCIÓN TÉCNICA DE EDIFICIOS.
- 2.2- ESTUDIOS ESTADÍSTICOS SOBRE PATOLOGÍA.
- 2.3- CONCEPTOS SOBRE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL.
- 2.4- EVOLUCIÓN DE LA NORMATIVA SOBRE FORJADOS.

## 2.1- LA INSPECCION TECNICA DE EDIFICIOS.



La inspección técnica es un proceso de trabajo que engloba, además de la propia inspección, el mantenimiento y la reparación de los edificios. Estos son procesos necesarios, independientes y complementarios que deben aplicarse a lo largo de la vida útil de un edificio, para proporcionar una correcta utilización del mismo y aportar, asimismo, un valor positivo en el esfuerzo de dotar de un grado aceptable a la sostenibilidad del parque inmobiliario.

Como se detallará más adelante, muchas de las lesiones atribuibles al uso y mantenimiento del edificio, tienen sus raíces en las propias lesiones derivadas del proyecto y de la ejecución. Si a esto se añade la edad de la construcción, la fatiga y la degradación de los materiales, los cambios de uso, el inadecuado o nulo mantenimiento de las mismas, etc., la inspección y la reparación de las construcciones en general y de las estructuras en particular es una actividad ineludible, necesaria y urgente.

### 2.1.1- Antecedentes históricos.

Hasta bien entrado el siglo XX, la edificación de viviendas se construía con pocos materiales y tradicionales. Su ejecución se basaba en la experiencia adquirida a través de una fundamentada tradición constructiva, de generación en generación, donde los usuarios conocían perfectamente las propiedades de los materiales y las explotaban con suma lógica y sensatez.

En la montaña lucense de Os Ancares se observa un claro ejemplo de la arquitectura popular, con las construcciones conocidas como *Pallozas*. Sus techumbres de madera estaban rematadas con paja de centeno, que con el mantenimiento adecuado y la reparación periódica permitió, durante siglos, funciones como la transpiración, el aislamiento, la impermeabilización, etc.



Palloza en Los Ancares (Luao)

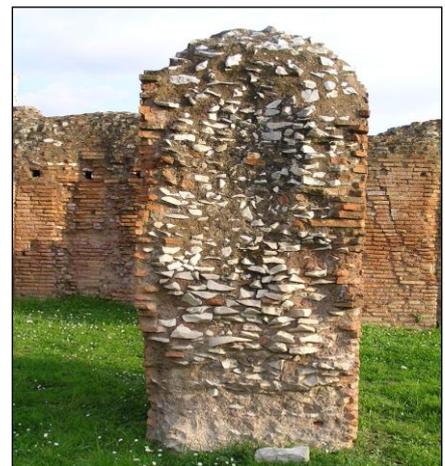


Igualmente, las viguetas de madera al ser vulnerables ante la humedad, se dejaban ventiladas o se cubrían con ceras o pinturas permeables.

Precisamente cuando se perdió esta costumbre, tanto los ataques de xilófagos como la humedad aceleraron sus procesos de degradación.

En la misma línea, los muros de tapial o los antiguos de mampostería fragmentada, con cierta frecuencia se protegían con fábrica o se encalaban para que no se deshicieran. Es decir, existía el concepto de un cierto mantenimiento y estaba muy ligado a la vida doméstica.

En la foto se puede observar un ejemplo de durabilidad adecuada del material. Se trata del resto arqueológico de un tramo de muro que se halla próximo al Capitolino en Roma.



Desde mediados del siglo XX, el panorama ha cambiado. Se han incorporado múltiples materiales, con mayor o menor éxito; el dimensionado de secciones es más complejo y ajustado. Sin embargo, se ha perdido el concepto de mantenimiento de antaño, en base a la falsa creencia de que el acero, el hormigón o los morteros tienen una durabilidad inagotable.



Se tiene constancia de que las estructuras de hormigón se construyeron en el territorio gallego a partir de finales de los años 20 e incluso antes en el caso de las cimentaciones. Esto significa que muchas construcciones han superado o van a superar buena parte de su vida útil.

En la foto se muestran dos pilares de hormigón, sobre los que recientemente realizamos una intervención, y pertenecientes a un edificio de 1938 en la ciudad de Coruña.



En España, la inspección técnica de edificios, como área específica, arranca en Barcelona con el primer colapso parcial de un edificio en la calle Cadi en noviembre del año 1990, asociado al uso del cemento aluminoso en las viguetas prefabricadas.

La Generalitat, con la ley de la Habitage en 1991 y la regulación del Libro del Edificio en 1997, junto con el Ayuntamiento de Barcelona con la Ordenanza para la Conservación y Seguridad de las Fachadas en 1998, toman la iniciativa en materia de control y mantenimiento de las edificaciones.

En enero de 1999, el Ayuntamiento de Madrid aprueba la Ordenanza sobre Conservación, Rehabilitación y Estado Ruinoso de las edificaciones y, entre otras, establece la Inspección Técnica de Edificios. A finales de 1999, también los gobiernos de Navarra y Valencia emprenden iniciativas similares.

El Libro del Edificio es, por primera vez en España, una herramienta reglamentada que establece un acuerdo de continuidad en todo el proceso edilicio, obligando al promotor a garantizar su producto y a los técnicos a la creación de pautas para un correcto uso y mantenimiento del edificio.

La perspectiva ha cambiado: en lugar de intervenir de urgencia una vez que aparecen los daños graves, se trata de prevenirlos mediante una planificación sistemática. Surge la obligación legal realizar una inspección a todos los edificios con una antigüedad superior a los veinte años y renovarla cada década.



Como se indicó en el capítulo anterior, en el año 1999, el COAG formaliza el acuerdo con el IGVS, con el fin de inspeccionar su patrimonio inmobiliario. Como resultado, se pone en marcha un cuerpo de arquitectos Inspectores de Edificación. El proceso arrojó un resultado muy positivo dos años después, tras haberse adquirido experiencia, criterios comunes de actuación y un protocolo de inspección. El éxito de esta experiencia se extendió a los principales ayuntamientos de la Comunidad Gallega: Legislación Autonómica (Ley 9/2002), Vigo (enero/06), Coruña (octubre/06), Lugo (julio/08), etc.

### 2.1.2- Estado actual.

Se entiende por vida útil de un edificio el período que conserva su capacidad de utilización, con eficacia y seguridad, hasta su demolición o completa rehabilitación. En la determinación de la vida útil intervienen diversos factores entre los que se destacan el uso final, el grado de prestaciones exigidas, los objetivos económicos y los hábitos socio-culturales.

No cabe duda de que cuando se habla de un edificio se refiere a un sistema muy complejo, integrado por diferentes subsistemas solidarios e independientes, cada uno de ellos con su rango propio de vida útil. Por lo tanto, el concepto de durabilidad de un edificio, inmerso en un proceso de inversión económica tan compleja, dependerá de la cuantía de recursos empleados para conservar las diferentes partes integrantes, establecidos a través de la previsión de lo que en economía se denomina coste global.



Este concepto se refiere al gasto invertido durante el periodo de vida útil del edificio en estos grupos:

- Proyecto
- Construcción
- Promoción
- Explotación energética
- Mantenimiento

Desgraciadamente, en los últimos años, la *burbuja* inmobiliaria ha priorizado los costes de los tres primeros y, a la vez, aceptando una vida útil media de cincuenta años. Sin embargo, los gastos de explotación y los de mantenimiento, pueden suponer a lo largo de esa vida útil hasta un 50% del total.

A diferencia de otros sectores de la economía, que han aplicado el coste global como parte indisoluble de la rentabilidad productiva, el sector de la construcción de viviendas se ha caracterizado como un proceso especulativo a corto plazo que se acaba con la venta al usuario final. De esta forma el periodo de vida útil de los edificios de viviendas aparece como un coste indeterminado, incierto y a fondo perdido, y lo que es peor, con pretensiones de eternidad.

Por otro lado, se define el concepto del mantenimiento, como aquel conjunto de operaciones y cuidados efectuados sobre los diferentes subsistemas, elementos constructivos y materiales. Este puede ser corrector o preventivo:



El mantenimiento corrector se basa en operaciones puntuales para reparar o sustituir una lesión avanzada en algún elemento del edificio, y es la forma tradicional que tienen algunas comunidades vecinales de entender la conservación de los edificios.

El mantenimiento preventivo hace referencia al conjunto de operaciones periódicas, prefijadas en un plan destinado a conservar la totalidad de los componentes del edificio en buenas condiciones de uso y seguridad, independientemente de que hayan aparecido las lesiones. Este método presenta, entre otras, las siguientes ventajas:

- Evita la aparición de lesiones y en caso de detectarlas se interviene, evitando la progresión de las mismas así como reparaciones excesivamente costosas e incluso molestas; se está hablando de la durabilidad del edificio.
- Son gastos con presupuestos programados, posibilitando al usuario la gestión técnico-administrativa del inmueble, reduciendo la aparición de posibles derramas extraordinarias. El entorno socio-cultural delimitará los usos, las necesidades prioritarias y los hábitos de los usuarios.
- Garantiza y prolonga la vida útil de los diversos elementos del edificio, asegurando, cuando no alargando, el periodo de vida del edificio a un coste aceptable. En este caso, se habla de calidad y confort.

La experiencia demuestra que en los últimos años los edificios presentan problemas de conservación cada vez más importantes que a veces derivan en situaciones de riesgo al no existir un mantenimiento adecuado o bien porque directamente no se hace. Más acusada resulta esta problemática en los cascos históricos de las ciudades gallegas.



Recordar que en estos momentos, el CTE hace obligatorio el mantenimiento, definiéndolo con cierta precisión: *"El conjunto de actividades destinadas a conservar el edificio o las partes que lo componen para que, con una fiabilidad adecuada, cumplan con las exigencias establecidas"*.

### 2.1.3- Perspectiva y necesidad.

Los motivos de la pérdida de la cultura del mantenimiento se pueden circunscribir al ámbito del usuario y al ámbito de la administración.

**AMBITO DEL USUARIO:** es patente el distanciamiento entre éste y su edificio, motivado por el grado de complejidad creciente y de la especialización de la actividad edilicia. El usuario no recibía, hasta la reciente incorporación del libro del edificio, la documentación necesaria que le informase del correcto uso y mantenimiento del edificio. Esto conlleva:



- a) Lesiones por negligencia: ya sea por ignorancia o dejadez, como usos incorrectos, actuaciones agresivas, reformas incontroladas, etc.
- b) Desconocimiento de las tareas de mantenimiento: con la creencia de que las pinturas, impermeabilizantes, sellados y otros materiales son eternos, reduciéndose las prestaciones y la vida útil del conjunto.
- c) Ignorancia de los derechos y obligaciones que establecen los diferentes tipos regímenes de propiedad, con los consiguientes problemas de gestión del mantenimiento de los elementos comunes, más acusado en los subsistemas ocultos, como es el caso de la estructura y las instalaciones.

**AMBITO DE LA ADMINISTRACIÓN:** se tendría que diferenciar entre dos aspectos: la legislación genérica, relativa al comportamiento que han de tener los propietarios; y la legislación específica, referente a la calidad que han de presentar los mismos. Cabe destacar que:

La Administración, pese a tener una legislación extensa (Código Civil, Ley del Suelo, LOE, Propiedad horizontal, Arrendamientos Urbanos y Normativas Municipales), no ha sabido crear los mecanismos efectivos para que se realicen las preceptivas tareas de conservación y mantenimiento. Ni siquiera la Ley de Propiedad Horizontal ha conseguido obtener acuerdos y establecer las pautas para la correcta conservación del edificio.



Según las normativas específicas de la construcción, hasta la reciente implantación del CTE, cabe decir que:

a) La evolución de la complejidad de las instalaciones no ha ido pareja con sus normativas. Tan solo las compañías de algunos suministros han sido garantes exigiendo un mantenimiento preventivo obligatorio en aquellas instalaciones susceptibles de riesgo: gas, ascensores y prevención de incendios (no así en electricidad y aguas).



b) La aparición continuada de nuevos materiales y sistemas constructivos sin especificaciones técnicas, sin experiencia contrastable en cuanto a durabilidad, sin compatibilidad constructiva e incluso, en algún caso, sin sentido común, han generado numerosos problemas en los edificios.



Tan solo las normas Tecnológicas de la Edificación aparecidas en los años setenta proponían algunas soluciones constructivas contrastadas frente a la multiplicidad y heterogeneidad de los nuevos materiales, precisamente en una época de gran actividad constructiva, donde primaba la cantidad, la rapidez de ejecución y la rentabilidad a corto plazo.

A la vista de la situación descrita en los párrafos anteriores, la recuperación de la cultura del mantenimiento pasa por incorporar a todos los sectores implicados, tanto el usuario como a la administración, la cual tiene la capacidad de implantar el marco legal apropiado.

La administración no solo debería favorecer, sino exigir la inspección de edificios, con el fin de concienciar a sus propietarios de los perjuicios derivados que su ausencia pueda suponer, y de la trascendencia estructural y económica que puede significar en la vida útil de un edificio.

Cabe señalar que la Ley de Ordenación de la Edificación ha recogido la filosofía de la normativa catalana anteriormente comentada, la Ley del Habitage en 1991, y la completa, estableciendo la reglamentación de las garantías y de las responsabilidades.

El Manual de Uso y Mantenimiento deberá ser el puente entre la promoción de viviendas y la vida útil del edificio y su aplicación puede posibilitar la conservación del mismo, alargando su vida útil y disminuyendo un porcentaje de lesiones significativas, como se verá a lo largo de la presente tesis.

## 2.2- ESTUDIOS ESTADÍSTICOS SOBRE PATOLOGÍA.

Lo que nos interesa en esta tesis es estudiar la cuantificación estadística de los daños, es decir, poder determinar la frecuencia con la que se producen determinados daños, analizando las causas y el origen que los motivan.

Una ingente cantidad de edificios repartidos por todo el mundo presentan problemas de funcionamiento incorrecto, ya sea en términos generales o concretos. Cada uno de esos problemas se manifiesta de una forma determinada, por lo que el levantamiento de esas manifestaciones siempre ha sido objeto de interés por parte de técnicos, constructores y, en los últimos tiempos, de las compañías de seguros y reaseguros.



Ahora bien, no se debe olvidar que patología es sinónimo de error y que a nadie le gusta reconocer sus errores; por ello, las fuentes de información sobre patología en la construcción y, peor aún si hablamos de siniestralidad, son mínimas. Evidentemente existen muchos casos de patología encubierta, tanto por parte de los constructores como por parte de los técnicos. A continuación, se procede a realizar un breve repaso sobre las estadísticas que han tenido una cierta difusión, además de un rigor coherente, y que pueden resultar de interés en la presente tesis dentro de un marco comparativo.

La American Railway Engineering Association (1), ya publicó en 1918 una recopilación de 25 accidentes producidos en construcciones ferroviarias de hormigón, clasificando el origen de las mismas en:

- Falta de calidad de los materiales.
- Errores de proyecto.
- Errores de ejecución.
- Desencofrados y entrada en carga prematura de la estructura.
- Cimentación insuficiente.
- Incendios.

METODOLOGIA CIENTIFICA: el problema de base no ha sido la diagnosis en sí, sino establecer un método claro y preciso para poder cuantificar los daños sin ideas preconcebidas y con métodos comparables.

Numerosos autores han profundizado en el tema de la metodología sobre el levantamiento de datos, la catalogación de la diagnosis y los procedimientos de cualificación de la patología en edificación.

Reygaerts (2) reconoce en 1980 la necesidad de profundizar más allá de la inspección visual y el análisis del proyecto, revisando los cuadernos y anotaciones de obra, encuestando a los usuarios e incorporando al proceso aparatos de medida y exámenes de laboratorio.

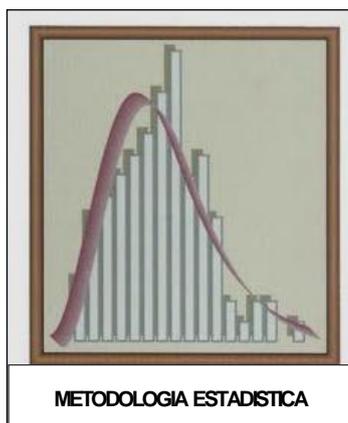
Eldridge (3) planteó en 1982 una sistemática muy rigurosa en el levantamiento de daños para valorar la incidencia de una lesión específica.

Ruano (4), en 1997, apunta la necesidad de establecer una sistemática comparativa en la metodología de la diagnosis que se incorpore a la normativa europea.

Los trabajos más recientes, como los de Grilo & Calmon (5) (2000), Antonelli & Carasek (6) (2003) tienden a desglosar los estudios por áreas geográficas, tipologías edificatorias, edades de construcción, frecuencia de daños por subsistemas y otros.

La presente tesis recoge estas últimas metodologías a la hora de realizar las clasificaciones, lo cual resultará muy práctico no solo para describir y analizar la problemática asociada al forjado de hormigón armado en la edificación residencial, sino para poder confrontar los resultados obtenidos con otros estudios estadísticos similares relativos a la siniestralidad del parque inmobiliario.





Por lo tanto, y en primer lugar, delimitar la metodología científica para poder cuantificar las lesiones con métodos comparables resulta una cuestión previa ineludible.

En segundo lugar, hay que ser muy cauteloso a la hora de extrapolar datos numéricos entre los distintos estudios estadísticos, estableciendo correlaciones matizadas y simplistas, pues en ocasiones anteriores han surgido interpretaciones confusas en torno a los siguientes parámetros:

- Poblaciones: pueden resultar claramente variables en cada estudio. Por lo tanto, no son comparables entre sí datos estadísticos procedentes de la edificación docente, residencial, monumental, industrial y otras. Esta tesis se centrará exclusivamente en la edificación residencial, con limitaciones legales, técnicas y económicas muy específicas.
- Colectivos: a veces, no son comparables entre sí datos estadísticos de la vivienda libre y la protegida o del sector privado con el público. En esta tesis se acota al ámbito de viviendas de protección oficial y promoción pública, con limitaciones económicas, tipológicas y constructivas muy concretas.
- Campos: como se verá a continuación, pueden ser claramente variables en cada estudio estadístico: tipo de obra, de estructura, localización de lesión, sintomatología, causas químicas o físicas, origen, costo de reparación, etc.
- Elementos de estudio: en muchos estudios estadísticos se combinan datos de múltiples elementos estructurales o bien no se especifica su ubicación concreta. Esta tesis se restringe a los forjados de hormigón armado.
- Metodología: se emplean diferentes medios a la hora de manipular la información. En este caso de inspección de edificios, se utilizó un cuestionario muy exhaustivo traducido a una herramienta informática común.
- Niveles de información: habitualmente no se llegan a concretar referencias a los tipos de sistemas constructivos, materiales afectados ni causas claras de las lesiones: en este trabajo se acota y concreta exhaustivamente el problema.

Una vez aclarados estos extremos, se procede a recordar algunos referentes históricos sobre estudios estadísticos en la construcción.

## 2.2.1- ESTADÍSTICAS EUROPEAS.



**BÉLGICA:** J. Reygaerts (2) publicó los resultados de dos estudios estadísticos sobre daños en la construcción; uno sobre una población de 1.200 expedientes en el periodo 1974/75, y el otro sobre un colectivo de 1.800 expedientes de los años 1976/77.

Tanto su análisis como sus conclusiones se centran fundamentalmente en la determinación de causas y naturaleza de las lesiones. El colectivo de datos es demasiado genérico en cuanto a defectos relativos a las estructuras, profundizando más en lesiones derivadas de las instalaciones, aislamiento acústico, impermeabilizaciones, acabados, etc.

Finaliza su estudio comparando sus resultados con otros de diversos países europeos. Sin embargo, el propio autor reconoce que solo tienen un interés de referencia, pero en ningún caso sirven para sacar conclusiones firmes sobre la correlación entre la calidad de edificación de dos países.

Por otra parte, el Bureau de Controle pour la Sécurité de la Construction (SECO), publicó un análisis estadístico de cierto interés en 1977, sobre las causas principales de siniestros de estructuras para un colectivo de 450 casos durante el periodo decenal que resultan ser los siguientes:

Bureau de Controle pour la Sécurité de la Construction (1977)	(%)
Deformaciones excesivas	32
Variaciones dimensionales	13
Construcción descuidada	11
Reconocimiento geotécnico insuficiente	10
Disposiciones constructivas inadecuadas	8
Defectos de corrosión	5
Materiales de mala calidad	5
Errores de cálculo	5

Pero lo más reseñable es el hecho de que el propio autor aclara que en el apartado de variaciones dimensionales se incluyeron las fisuraciones de tabiquerías y pavimentos las cuales, en términos generales, están íntimamente ligadas a la deformación excesiva del forjado; de aquí, que el autor concluya el forjado como el elemento más vulnerable de la estructura.

El apartado de defectos de corrosión arroja un porcentaje muy bajo, pero hay que notar que las exigencias francesas sobre la durabilidad del hormigón iban al menos una década por delante de las españolas.

- ALEMANIA: Lerner (7) en 1981 estudió 1.576 casos donde aparecen una serie de datos estadísticos referidos a la causa de lesiones, algunas de las cuales son las mismas que publicó Reygaerts en Bélgica. El colectivo de datos relativos a las estructuras abarca el período 1970 a 1980, profundizando más en el análisis de lesiones constructivas tipo pero sin ahondar en el origen de las mismas.



- INGLATERRA: La Institución Building Research Advisory Service, en referencia a la propuesta de Freemann (8), ha estudiado un colectivo de 510 casos en 1986. Destaca en este estudio, el hecho de que la suma de porcentajes de causas de lesiones es mayor de 100, lo cual indica claramente que para cada estructura dañada se pueden presentar más de una causa.



- FRANCIA: es el país más preocupado por el estudio estadístico en cuanto a patología se refiere, probablemente por la temprana aplicación del seguro obligatorio en la construcción.

Se reconocen dos fuentes de datos estadísticos. Por un lado, el Bureau Sécurité que desde 1950 tiene un servicio específico dedicado al estudio estadístico y técnicas de los siniestros.



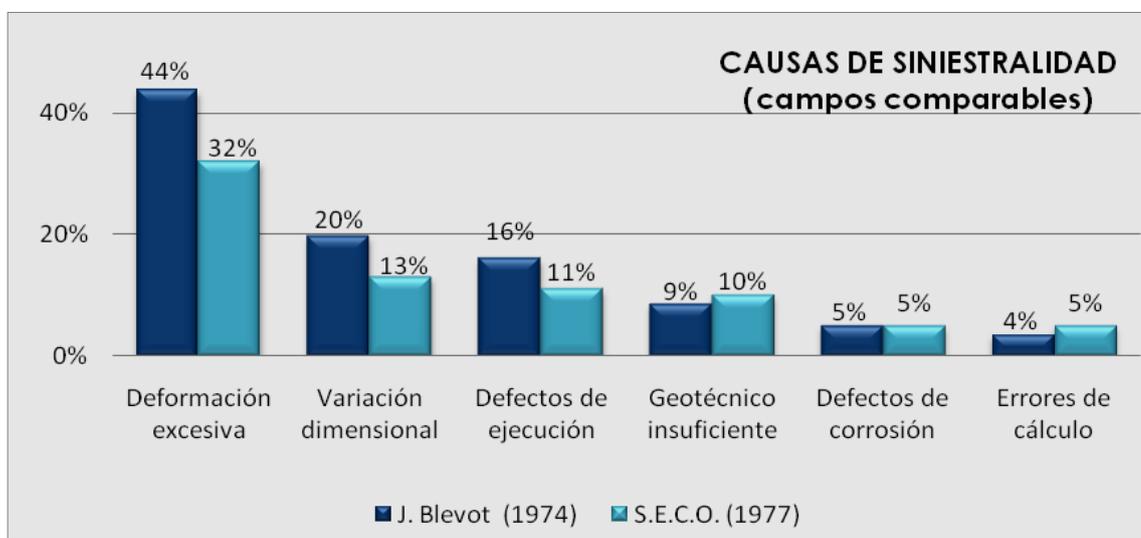
Por otro, se encuentra una fuente muy completa de estadísticas francesas en las publicadas por Sycodes (publicación de la Agencia de la Calidad y la Construcción), incluso yendo más allá del ámbito de las estructuras de hormigón armado (fachadas, cubiertas, instalaciones, etc.).

Según Logeais (9), en Francia se producían más de 100.000 siniestros anuales, aunque no todos tienen la importancia suficiente. En el año 1984 se estudiaron 15.000 casos, considerados de interés.

Jean Blevot (10) publicó en 1974 una estadística, que si bien es antigua, resulta bastante detallada y puede dar una primera aproximación. Estudió 2979 siniestros entre 1948 y 1974 extrayendo las siguientes causas de siniestralidad:

Institut Technique du Batiment et Travaux Publics. J. Blevot - París, 1974.	PORCENTAJE (%)
Deformaciones excesivas	43,7
Variaciones dimensionales	19,7
Defectos de ejecución	16,0
Ausencia de estudios geotécnicos	8,8
Corrosión y ataques químicos	4,7
Concepción de la estructura y problemas de inestabilidad	3,6
Otras causas	3,5

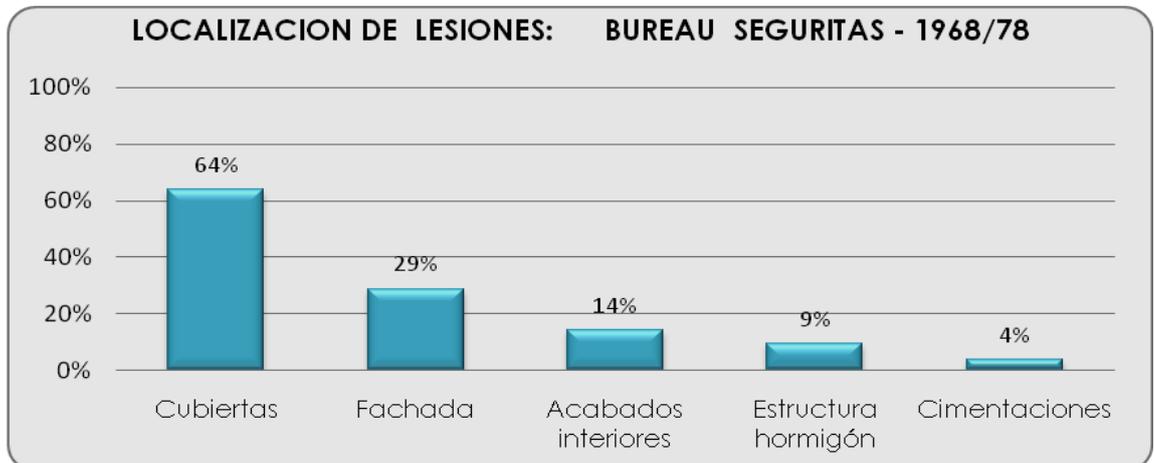
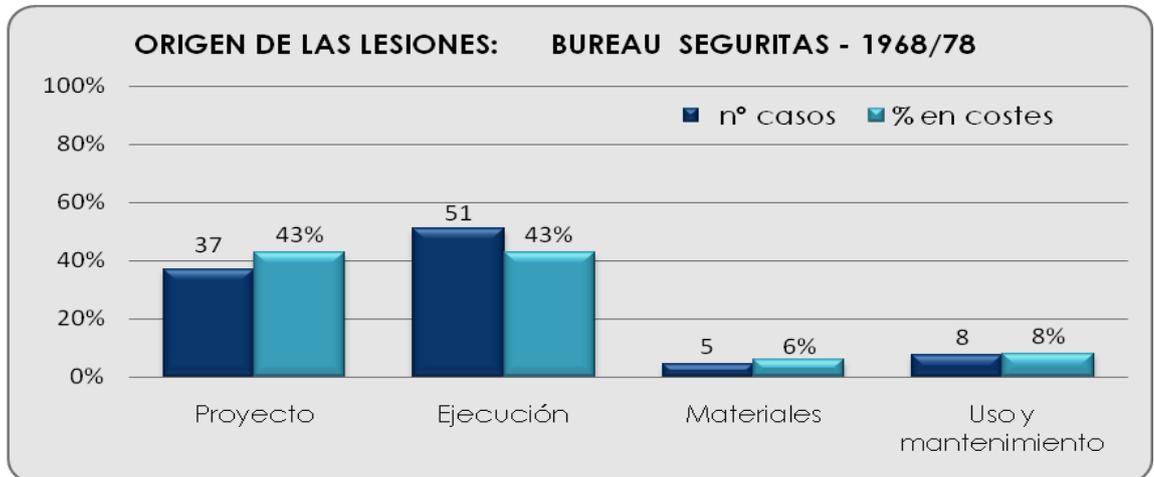
Con todas las reservas necesarias se puede realizar una primera comparativa entre ésta estadística francesa y la anterior estadística belga del SECO (Bureau de Controle pour la Sécurité de la Construction), dado que fueron realizadas en épocas similares y presentan varios campos comparables:



Dado que el SECO belga consideraba las fisuraciones de tabiquerías y pavimentos en el grupo *Variación Dimensional* y las cuales, en términos generales, están íntimamente ligadas a las deformaciones excesivas de forjados, resulta cuanto menos curioso, en esta primera aproximación, que los valores estadísticos de la época eran prácticamente iguales en Francia y Bélgica. Y resulta, de forma clara y contundente, que la mayor acumulación de daños estructurales se refiere al forjado.

BUREAU SEGURITAS (11) publicaba en 1979 uno de los análisis estadísticos más rigurosos sobre 10.000 expedientes de lesiones en las construcciones declarados a las compañías de seguros entre los años 1968 y 1978.

Este estudio es bastante más prolijo en la elaboración de las estadísticas y, lo que es más importante, define cuál es y que representa la población de cada campo. Así, entre otros, arrojaba los siguientes resultados:



### 2.2.2- ESTADÍSTICAS ESPAÑOLAS: J.A. VIEITEZ CHAMOSA (1984).

Se ha podido acceder a la tesis doctoral completa del Dr. Ingeniero J.A. Vieitez (12) escrita en 1984 bajo el título "Patología de la construcción en España: aproximación estadística". Es el estudio estadístico que más difusión ha tenido en España, tanto por su rigor como por el hecho de que incorpora estudios de lesiones según el tipo de edificación, por elementos afectados, por la sintomatología, el origen, las causas y las consecuencias. Abarca el estudio de estructuras en general, pero la mayor parte de su base de datos se centran preferentemente en las de hormigón armado.

La base de datos está recogida de los archivos de los departamentos de Patología y Rehabilitación del Instituto Eduardo Torroja y de INTEMAC. Sin entrar en un análisis pormenorizado, seguidamente se exponen algunos datos estadísticos de primer nivel, que servirán de referencia comparativa con esta tesis.

Vieitez realiza un estudio básico del origen de las lesiones en función de las etapas de proyecto, ejecución de obra, fallos de materiales y debidas al uso. Para algunas estadísticas donde la suma de porcentajes en cada campo era mayor que 100, el autor justifica los correspondientes valores reducidos de dichas estadísticas. Estos, se obtuvieron al dividir cada dato numérico por la suma de porcentajes. Las estadísticas reducidas así obtenidas, interesan únicamente a efectos comparativos:

ANÁLISIS DE DAÑOS EN FUNCIÓN DE SU ORIGEN						
PAIS	PERIODO	Nº CASOS	CAUSAS DE LAS LESIONES (%)			
			Proyecto	Ejecución	Materiales	Utilización
Gran Bretaña	> 1974	510	49,1	29.6	10.1	9.3
Alemania	1970 - 80	1576	40.1	29.3	14.5	9.9
Bélgica I	1974 - 76	1200	49.0	22.0	15.0	9.0
Bélgica II	1976 - 78	1800	46.0	22.0	15.0	8.0
Bélgica III	1958 >	450	54.0	29.0	5.0	1.7
Francia	1968 - 78	10000	37.0	51.0	4.5	7.5
País Vasco	1969 - 83	116	34.5	32.3	17.2	10.7
España	1963 - 83	586	41.2	31.1	13.0	10.9
MEDIA	--	--	42.0	28.5	14.2	9.6

En términos generales, se concluye que la construcción en España se encuentra en porcentajes similares al resto de países europeos, en el período estudiado.

Otra conclusión interesante dice que los errores de proyecto son 150% superiores a los errores de ejecución. A mayores, decir que los daños derivados del mal uso o utilización presentan unas incidencias muy bajas.

En cuanto a las causas concretas de lesiones expone los resultados desde una doble vertiente; por un lado, considerando aquellos 235 informes donde se intervino con una reparación/refuerzo y, consecuentemente, se pudo objetivar la causa última y, por otro lado, el porcentaje sobre el total de los 586 informes:

CAUSAS CONCRETAS DE LAS LESIONES EN ESPAÑA (%)		
FASE DE PROYECTO:	Parcial 235 informes	Total 586 lesiones
Fallos por anclaje o equilibrio	11,2	21,8
Disposiciones inadecuadas de armado	7,3	14,2
Cimentaciones	7,1	13,9
Deformación excesiva y/o incompatibles	9,0	12,9
Deficiencia o ausencia armaduras	5,4	10,6
Acciones y sobrecargas	3,2	5,7
Hipótesis erróneas de cálculo	4,4	4,0
FASE DE EJECUCION		
Defectos de ejecución	26,2	63,6
Recubrimiento de armaduras	2,8	7
Encofrados y desencofrados	1,5	3,7
DEBIDAS A MATERIALES:		
Baja calidad del hormigón	9,5	60,2
Baja calidad de morteros	2,2	14
Baja calidad de los áridos	1,0	6,4

En cuanto a la estadística sobre lesiones en función del tipo de edificación, resulta de utilidad para corroborar la muy alta incidencia en el caso residencial, así como la relativamente alta de los edificios de enseñanza (que sin duda no suponían el 22% del total):



De este estudio también se deduce que aquellas acciones a las cuales se les dedica tradicionalmente menos atenciones han sido las que arrojaron valores más altos de daños mientras que las acciones verticales, habitualmente consideradas en todos los proyectos, apenas produjeron lesiones:



J.A. Vieitez ya apunta la siguiente reflexión fundamental: dado que las lesiones manifestadas en las tabiquerías interiores de ladrillo tienen su origen, casi siempre, en la deformación del forjado sustentante, los daños por patología de forjados alcanzan un valor del orden del 70%. Por lo tanto, concluyó que el forjado era, con diferencia, el elemento más problemático de la estructura:

DAÑOS EN FUNCIÓN DEL ELEMENTO AFECTADO	PORCENTAJE (%)			
	1969/73	1974/78	1979/83	MEDIA
Forjados	25,0	24,3	27,5	25,6
Vigas	22,1	24,3	25,3	23,9
Pilares	17,3	11,0	12,5	13,6
Cimentación	20,4	17,1	19,5	19,0
Cubiertas	17,5	15,3	15,8	16,2
Cerramientos	22,8	22,1	22,0	22,3
Tabiquería	12,9	15,5	17,5	15,3

Basta observar el porcentaje relativo a la sintomatología, donde predomina la deformación excesiva junto con los casos de fisuración y de corrosión:

SINTOMATOLOGÍA DE LAS LESIONES	PORCENTAJE (%)			
	1969/73	1974/78	1979/83	MEDIA
Fisuración	69,0	59,8	48,8	59,2
Deformaciones excesivas	36,3	39,4	42,0	39,2
Corrosión de armaduras	23,5	27,8	29,5	26,9
Desprendimientos / disgregación	10,8	7,7	13,0	10,5
Baja resistencia del hormigón	12,1	15,3	14,8	14,0
Hundimientos	7,1	6,5	3,5	5,7

Por otra parte, como se verá en el capítulo correspondiente a Daños por Ataque Químico, la fisuración de un elemento, la porosidad del hormigón y la corrosión de armaduras son parámetros estrechamente vinculados.

### 2.2.3- ESTADÍSTICAS ESPAÑOLAS: Grupo Español del Hormigón (1992).

Resulta interesante este estudio estadístico de 1992 realizada por la Comisión IV del Grupo Español del Hormigón Armado (GEHO) (13) sobre patología de estructuras de hormigón armado correspondientes a la década 1970/80. Se encuentra publicada en su Boletín nº10.

La base de datos contemplaba 844 casos de lesiones, y fue facilitada de forma confidencial por diversas empresas y laboratorios, principalmente Intemac (617) y Labein (108).

Este gráfico resume el origen de daños, si bien incluye un apartado relativo a acciones imprevistas (sin especificar). Curiosamente, y en similar proporción que en la tesis de J.A. Vieitez, los errores de proyecto vuelven a ser del orden de un 150% superior a los errores de ejecución:



En cuanto a los porcentajes sobre los elementos estructurales y constructivos afectados en edificación con estructura de hormigón, se obtiene:

DAÑOS EN FUNCIÓN DEL ELEMENTO AFECTADO	PORCENTAJE
Vigas	43 %
Forjados	35 %
Pilares	30 %
Cerramientos	21 %
Tabiquería	21 %
Cimentación	7 %
Cubiertas	5 %
Fachadas	4 %
Otros	5 %

Las lesiones con mayor incidencia se producen, al igual que en la tesis de J.A. Vieitez, en el binomio vigas y forjados (suman el 78%), es decir, los elementos flectados. El estudio también hace referencia a la singularidad de que el mayor número de elementos afectados se situaban en suelo de la planta baja, coincidiendo con la planta inferior diáfana destinada a aparcamiento (por efecto de acumulación de arcos de descarga).

DAÑOS EN FUNCIÓN DE LA SINTOMATOLOGÍA DE LAS LESIONES	PORCENTAJE
Fisuración	62,2 %
Deformaciones excesivas	17,1 %
Corrosión de armaduras	15,9 %
Desprendimientos / disgregación	13,5 %
Ataque químico al hormigón	8,50 %
Otros	23,7 %

En cuanto al análisis sobre las deformaciones excesivas, el estudio pone de manifiesto las conclusiones siguientes:

- Los daños causados por este problema corresponden a vigas planas en prácticamente el 100 % de los casos.
- En el caso de los forjados los daños correspondientes a cubierta son del 33,3%; forjados intermedios de pisos el 17,4% y los de plantas bajas al 33,9%.

Por otra parte, y frente a otras estadísticas, resulta significativo el elevado porcentaje de daños que se indica a partir de los diez años (correspondientes a denuncias al finalizar la responsabilidad decenal):

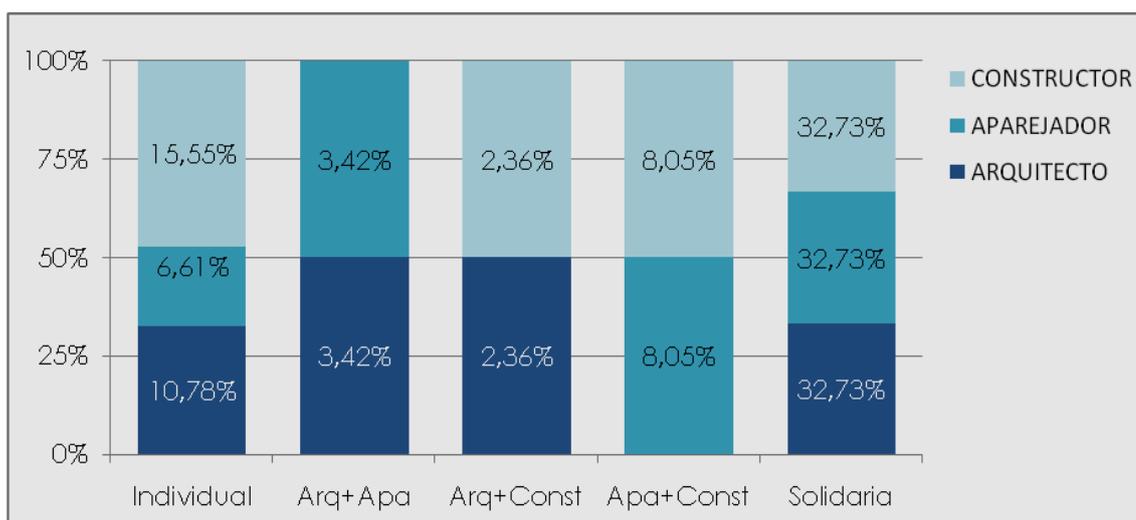


### 2.2.4- ESTADÍSTICAS ESPAÑOLAS: Joseba Escribano Villán (1993).

El Dr. Arquitecto Joseba Escribano Villán (14) publicó en 1993 un resumen de su tesis doctoral sobre siniestros en edificación. El estudio, que ha sido consultado, se basa en los datos de siniestros producidos en la edificación en el trienio 1984/87, en base a 1820 expedientes de la recién creada Mutua de Seguros de Arquitectos Superiores (ASEMAS).

En este caso, el enfoque está orientado a conocer las responsabilidades de la siniestrabilidad abarcando todos los subsistemas del edificio y, sobre todo, la repercusión social, profesional y económica resultante. Este trabajo remata con unas propuestas de ámbito político y legal que, vistas ahora en perspectiva, resultan cuanto menos muy predictivas, como es la necesidad de una Ley de Edificación Española, la reforma del Código Civil y la limitación del ámbito de las responsabilidades, la creación de un Seguro Obligatorio para todos los agentes de la construcción, la necesidad de un Libro del Edificio con sus manuales de mantenimiento y la necesidad de desarrollar las Normas Tecnológicas del momento, endureciéndolas y convirtiéndolas en obligatorias.

Una de las estadísticas más ilustrativas que sí puede resultar de cierto interés por la perspectiva legal que se deriva de la patología es ésta:



De esta tabla el autor resalta dos aspectos importantes:

- De las sentencias absolutorias, casi todas correspondían al hecho de haber expirado el plazo de garantía y/o a defectos de forma.
- Si se suman las sentencias solidarias con aquellas individualizadas que implican al arquitecto, supondrían en los tres casos en torno al 45-53% de los veredictos de culpabilidad.

En cuanto a los defectos derivados de las fases de proyecto y ejecución e imputables al arquitecto los agrupa de la siguiente manera:

DEFECTOS IMPUTADOS AL PROYECTO	%
Detalles constructivos inadecuados	50,1 %
Errores del estudio del suelo	23,4 %
Errores del cálculo estructural	15,6 %
Incumplimiento de normativa	10,9 %
DEFECTOS IMPUTADOS A LA EJECUCIÓN	%
Derribos o excavaciones colindantes	36,1 %
Defectos de construcción	26,8 %
Defectos estructurales	19,3 %
Defectos de acabados	16,5 %
Incumplimiento de normativa	1,40 %

De entre los síntomas denunciados por los usuarios, generalmente ajenos a la construcción y por lo tanto ignorantes sobre la importancia de las mismas, contra el proyecto del arquitecto se encuentran las siguientes:

DEFECTOS IMPUTADOS AL ARQUITECTO	PORCENTAJE
Fisuraciones de tabiquerías	27,80 %
Humedades	19,40 %
Deformaciones o roturas estructurales	16,60 %
Reclamaciones de honorarios	13,90 %
Replanteos y dimensiones	8,33 %
Deficiencias en las instalaciones	8,33 %
Otros	5,56 %

De este estudio el autor destaca los siguientes comentarios:

- La mayoría de las denuncias por humedades se corresponden con los espacios bajo cubierta o con las plantas en contacto con el terreno.
- En cuanto a las deformaciones, en la mayoría de los casos se refieren a las producidas por el binomio vigas planas / forjados.
- En cuanto a las reclamaciones de honorarios se agrupan en dos aspectos: por un lado cuando el producto final no se corresponde con lo ofertado y, por otro lado, cuando se produce una reducción del espacio a comprar o vender; en este último caso, su mayor incidencia corresponde a las plazas de garaje.

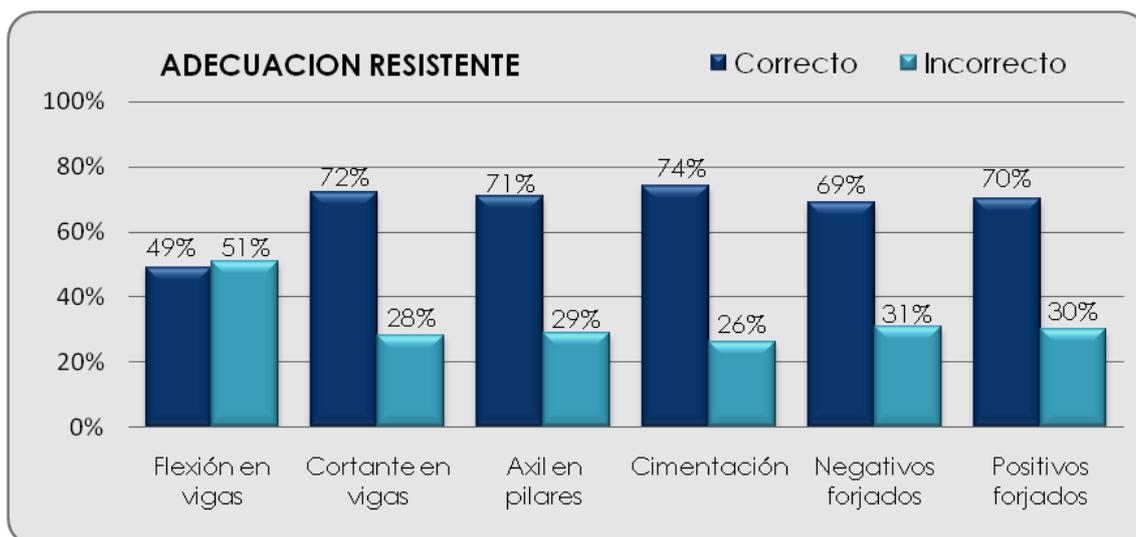
### 2.2.5- ESTADÍSTICAS ESPAÑOLAS: Valentín Lamas López (2001).

Se ha podido acceder a la tesis doctoral completa del Dr. Arquitecto Valentín Lamas López (15) quien realizó una interesante tesis doctoral en noviembre de 2001 bajo el título "Valoración del Proyecto Estructural de Edificación en Galicia".

El objetivo de esta tesis era un análisis sobre la calidad de los proyectos de estructuras realizados en el bienio 2000/2001, de edificios y construcciones sometidas por la Ley de Ordenación de la Edificación a la obligatoriedad de un control estructural externo con técnicos independientes; es decir, es un estudio desde la perspectiva de las Oficinas de Control Técnico.

La base de datos de 205 proyectos de la comunidad autónoma gallega fue facilitada por la empresa NORCONTROL en base a los siguientes indicadores: documentación de proyecto, calidad gráfica de los planos de estructuras, estabilidad y resistencia mecánica, bases de cálculo y calidad global.

Entre las variables de tipo resistente, obtuvo los siguientes datos:



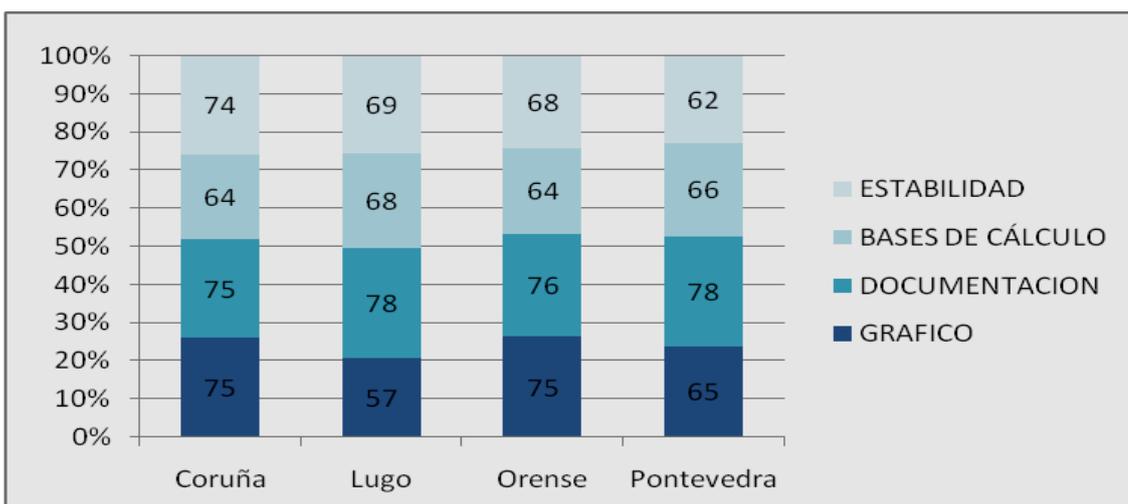
Aunque los resultados hablan por sí mismos, merece la pena analizarlos:

- En el caso de los armados de las vigas y pilares, proceden en su mayoría de programas informáticos; es decir, sus manipuladores no parecen tener control sobre el programa.
- En el caso de las cimentaciones, la fuente de problemas derivan de las cimentaciones especiales, no del caso de cimentación por zapatas. Los muros

de cimentación presentaban dimensionados correctos pero errores en las cuantías geométricas.

- En el caso de los forjados, además de la escasez de armado, el otro error común consiste en que no se facilitan los valores de cortante en nervios. En el caso de los forjados realizados in situ, la inexistencia de armado a cortante resulta una constante a la par que un hecho muy grave en ciertos casos.

En otro estudio hace referencia a los índices de calidad y seguridad estructurales. Estos índices engloban la correcta definición gráfica (planos, detalles y despiece de armados); la documentación de proyecto (memoria de cálculo, normativa y listados); las bases de cálculo (estimación de acciones, rigor en el cálculo e hipótesis planteadas) y la estabilidad global de los elementos estructurales:



Entre las variables estudiadas, también resulta interesante visualizar el análisis de la consideración de acciones que incorporan los proyectos (columna izquierda), así como el porcentaje de estimación correcta sobre los valores anteriores (columna derecha):

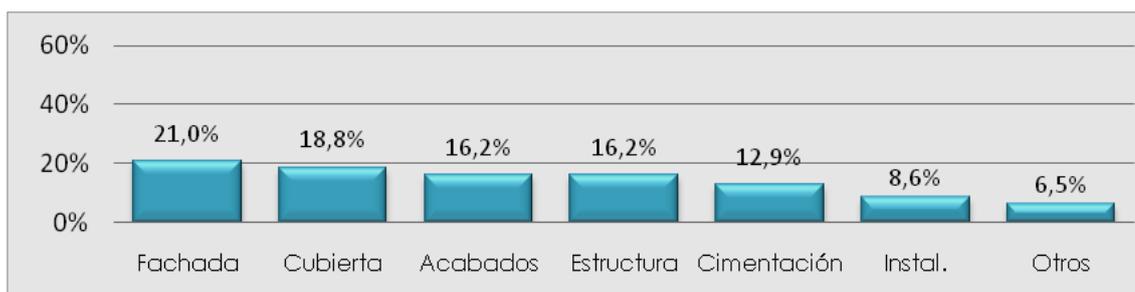
PORCENTAJES CORRECTOS EN LA ESTIMACIÓN DE ACCIONES (%)								
Variable	Coruña		Lugo		Orense		Pontevedra	
GRAVITATORIAS	92	52	100	51	98	39	100	57
TÉRMICAS / REOLÓGICAS	72	--	70	--	75	--	81	--
TERRENO	27	67	24	54	16	75	17	83
VIENTO	57	62	62	62	64	66	55	64

Resulta tan sorprendente como preocupante comprobar que, a la vista de los datos, la simple estimación de acciones gravitatorias arroja unos porcentajes de cumplimiento inaceptables; las acciones del terreno son frecuentemente obviadas y las de viento son estimadas de una forma errónea. En cuanto a las acciones térmicas, en la mayoría de los casos están justificadas simplemente en base a la adopción o no de las juntas de dilatación.

## 2.2.6- ESTADÍSTICAS ESPAÑOLAS: ASEMAS

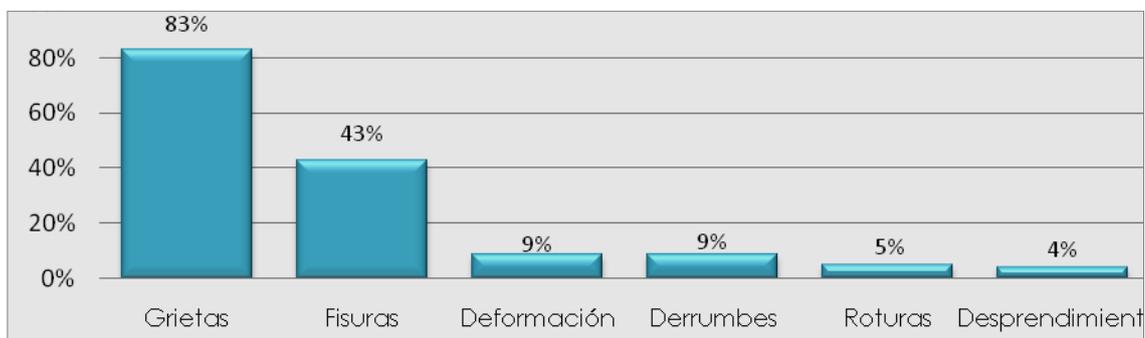
La Asociación de Seguros Mutuos de Arquitectos Superiores (ASEMAS) es la aseguradora fundada en el año 1983 por acuerdo unánime de todos los colegios profesionales de España. Esta compañía tiene la base de datos sobre siniestralidad más importante del país. Amparándose en la protección de datos tan solo ha facilitado los escasos datos que aquí se reflejan:

Un estudio realizado a nivel nacional por el Departamento de Estadística y Patología sobre 4.024 expedientes, desde su fundación hasta 1990, establecía la siguiente distribución de lesiones por subsistemas constructivos:



En este estudio, se observa de nuevo que la fachada y la cubierta son los subsistemas que, a priori, más expedientes presentan. Lógicamente, al estar expuesta a la intemperie, le obliga a prestaciones combinadas de estética, durabilidad, aislamiento e impermeabilidad.

En cuanto a los Acabados, se concluye que la mayoría son lesiones en tabiquerías (grietas y fisuras) derivadas de la excesiva deformación del forjado:



Así pues, si se anexan los porcentajes anteriores de Acabados más Estructura, estaríamos superando el número de expedientes de Fachada y/o Cubierta.

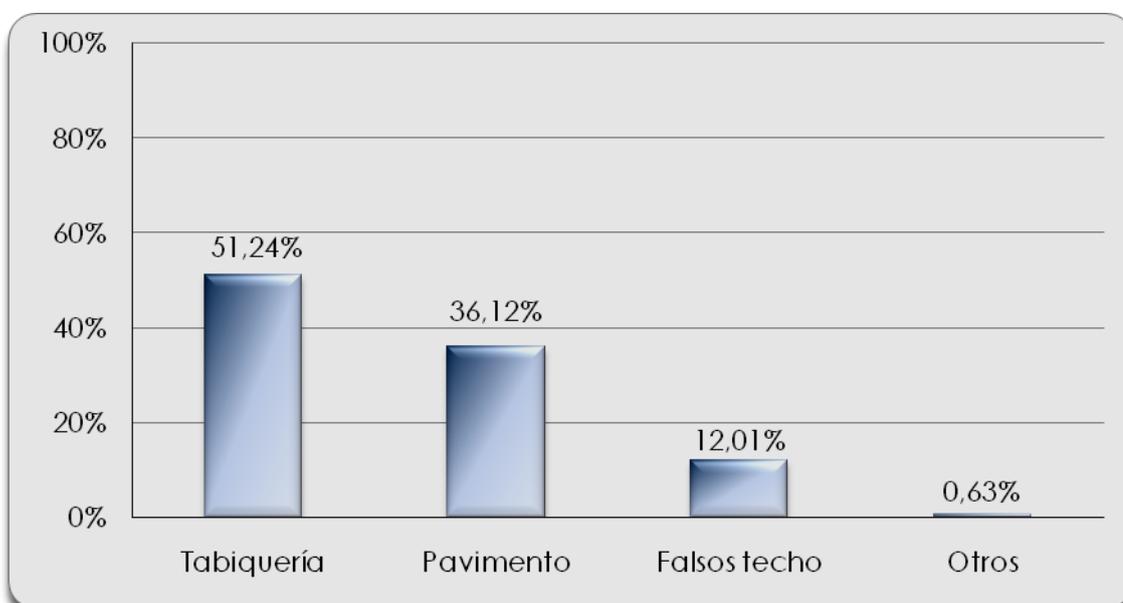
En 1998, ASEMAS reconoce (Boletín nº19) que los elementos que generan reclamaciones con mayor frecuencia son los forjados, significando del orden del 67,84% de las lesiones vinculadas al conjunto de la estructura.

## 2.2.7- RESUMEN Y CONCLUSIONES.

Cabe resumir que, vistos los anteriores referentes y en términos muy generales, las principales conclusiones, que vienen a coincidir a *priori* con la experiencia obtenida sobre el propio trabajo de campo realizado en Galicia, son:

- El mayor porcentaje de lesiones se manifiestan en los edificios destinados a viviendas.
- De los subsistemas que componen el edificio (fachada, cubierta, estructura, cerramientos, instalaciones, carpinterías, particiones, etc.), el mayor número de daños se reparten, a priori, entre cubiertas y fachadas.

Sin embargo, si se profundiza en el origen de las lesiones, se concluye que el mayor porcentaje está vinculado a la estructura. Resultan sintomáticos los daños que afectan a los acabados interiores originados por la excesiva flexibilidad del forjado, con mayor incidencia en las tabiquerías:



Tabiquerías

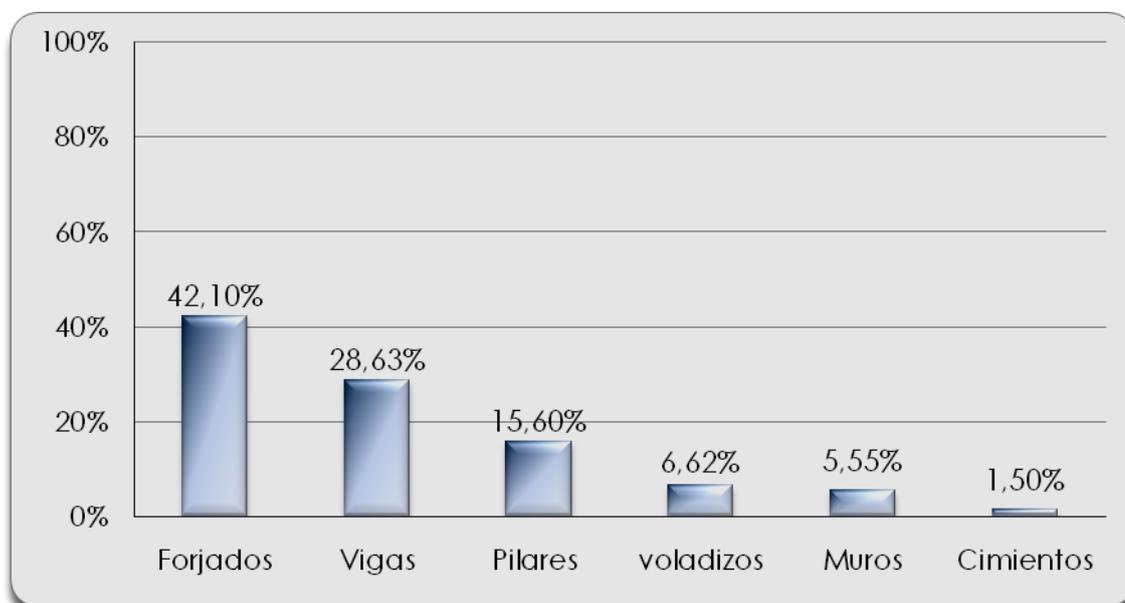


Pavimentos

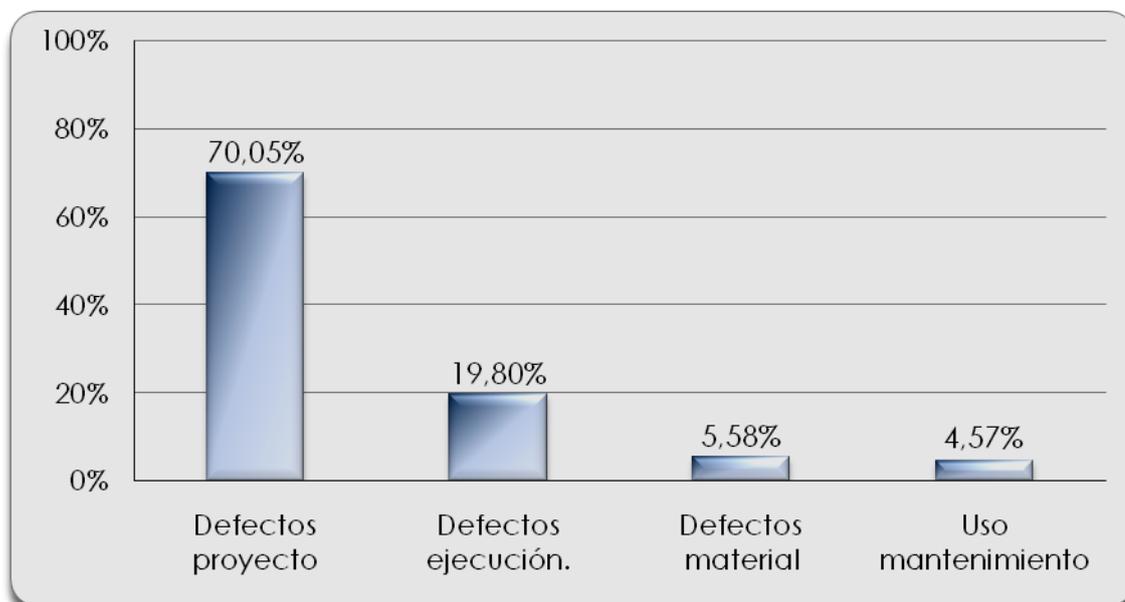


Falsos techos

- Dentro del subsistema estructura la mayor parte de las lesiones se producen en el binomio forjados y vigas (especialmente significativo en el caso de vigas planas); en menor cuantía aparecen problemas en los soportes, muros y en las cimentaciones.

*Forjados**Vigas**Pilares**Voladizos**Muros**Cimientos*

- El origen de las lesiones en el subsistema estructura se basan, principalmente, en errores derivados de la fase de proyecto (diseño, estimación de acciones, cálculo, geotécnica, detalles constructivos, etc.); los errores de la fase ejecutiva (encofrado, hormigonado, colocación de armaduras, etc.) presentan una incidencia muy inferior. Tanto las lesiones derivadas de la baja calidad de materiales como las derivadas del uso inadecuado y/o falta de mantenimiento presentan un porcentaje realmente reducido:



Proyecto



Ejecución



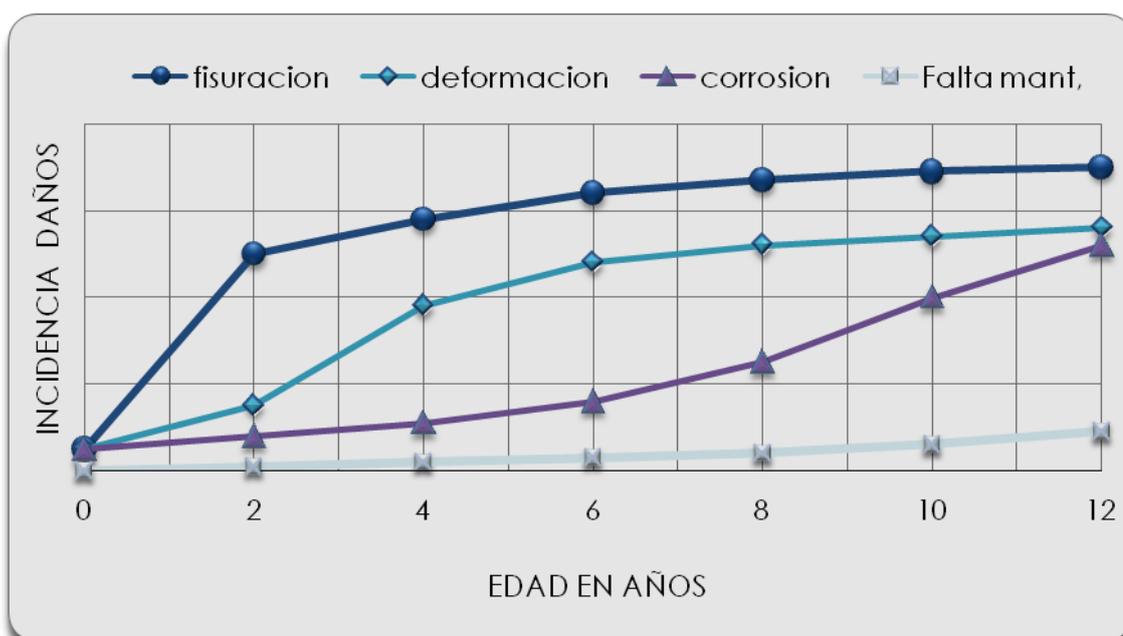
Material



Mantenimiento

- En torno a la mitad de los daños que presenta una estructura se detectan y se reparan durante el periodo de construcción. Del resto:

- Fisuración: la mayor incidencia se sitúa entre los 1 y 2 años
- Deformación de forjados: se acusa en mayor medida entre los 2 y los 5 primeros años
- Corrosión y/o carbonatación: aparecen entre los 5 y los 10 años.
- Falta de mantenimiento: a partir de los 12-15 años los materiales comienzan a mostrar signos evidentes de envejecimiento.



Fisuración



Deformación



Corrosión



Mantenimiento



## 2.3- CONCEPTOS PREVIOS SOBRE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL.

Las lesiones en las estructuras son problemas inherentes a la construcción desde tiempos remotos.

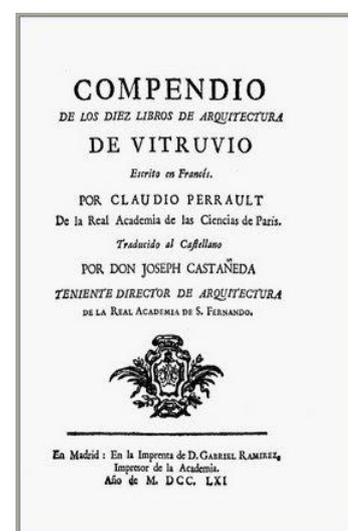
De forma anecdótica podemos recordar que en Mesopotamia, en el 1760 a.c., el Código de Hammurabí establecía cinco preceptos básicos para *prevenir* la patología en la edificación de la época. Aunque un tanto drásticos, es probable que resultasen muy efectivos:



- 1.- *Si un constructor edifica una casa para un hombre y no la hace firme, y su colapso causa la muerte del dueño de la casa, el constructor deberá morir.*
- 2.- *Si causa la muerte del hijo del dueño de la casa, el hijo del constructor deberá morir.*
- 3.- *Si causa la muerte de un esclavo del propietario de la casa, el constructor deberá dar al propietario un esclavo de igual valor.*
- 4.- *Si la propiedad fuese destruida, él deberá restaurar lo destruido por su propia cuenta.*
- 5.- *Si no la hace de acuerdo con las especificaciones, y una pared se cae, el constructor reconstruirá la pared por su cuenta.*

También Marco Vitrubio Polion en el 27 a.c. apuntaba al respecto en su libro "De Architectura":

*"En Éfeso, grande y hermosa ciudad de Grecia, dicen hay una antigua Ley, dura a la verdad, pero nada injusta. Y es que cuando un arquitecto toma a su cargo una obra pública, presenta un cálculo y una tasación hecha del gasto de ella, quedando sus bienes obligados al magistrado hasta estar concluida. Entonces, si las expensas corresponden al cálculo, será el arquitecto ennoblecido con decretos y honores. Así mismo, si los gastos no exceden al cálculo en más de una cuarta parte, se pagarán de los fondos públicos, sin que el arquitecto quede sujeto a pena alguna. Pero si en la obra se consume más de la cuarta parte, se tomará de sus bienes el dinero para la conclusión".*



León Battista Alberti escribe en 1450 "*De re aedificatoria*" que es un completo tratado de arquitectura en todos los aspectos teóricos y prácticos. Su libro décimo se titula "*Operitium instauratio*" donde, por primera vez, un arquitecto se ocupa de la restauración.

Andrea Palladio, como fruto de un estudio profundo de las ruinas, publica en 1570 su famoso tratado "*Los Cuatro Libros de la Arquitectura*", donde ya recoge diversas recomendaciones relacionadas con los diversos materiales imperantes (ladrillo, mortero de cal, piedra y madera) con vistas a protegerlos de posibles patologías, así como soluciones para paliar grietas y humedades.



Pero entre los antecedentes históricos más próximos en el tiempo, resulta significativo que ya en el año 1856, Robert Stevenson, presidente del Instituto Británico de Ingeniería, ahondase no sólo en el problema de la patología, sino de la necesidad intrínseca de dar a conocer los resultados:

*"Los accidentes que han tenido lugar durante los últimos años, deberían ser recopilados, analizados y divulgados, puesto que nada sería tan útil e instructivo, para los jóvenes alumnos y profesionales, como el conocimiento de los mismos y de los medios empleados en sus reparaciones. La divulgación precisa de tales accidentes y de los medios empleados para subsanar sus consecuencias, serían en realidad más valiosos que los millares de relatos auto elogiosos de los trabajos bien realizados, que los constructores presentan al público y a sus accionistas".*

### 2.3.1- PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LA PATOLOGÍA.

Ya en la segunda mitad del siglo XX, en el ámbito de la edificación residencial, las estructuras de hormigón armado han sido con gran diferencia, en relación a otras tipologías estructurales, las que han tenido una mayor difusión. En España, su empleo se comenzó a transformar en habitual desde finales de la de los años veinte, para satisfacer la masiva demanda de edificios residenciales del momento.

En los últimos años se ha realizado un gran esfuerzo para mejorar la calidad la construcción española en general y de las estructuras en particular. Basta observar la evolución de la normativa al respecto en las dos últimas décadas, hasta culminar recientemente con la incorporación legal de los diferentes documentos básicos que configuran el CTE, además de la última actualización de la Instrucción de hormigón armado EHE-08.

Pero si se hace un breve repaso a la evolución de las estructuras de hormigón armado en este país, rápidamente se observa que los primeros síntomas de patología comienzan a detectarse desde el principio de su uso, aunque se hacen realmente evidentes a finales de los setenta. En el apartado de comentarios relativos a la evolución de la normativa española, se profundizará en este aspecto.

Los años sesenta y setenta eran tiempos, en términos generales, de estructuras racionales (cálculos holgados, trazados sencillos y lógicos, vigas de generosos cantos, luces contenidas, etc.), pero también eran tiempos de armaduras lisas (fallos por anclajes), ausencia o escasez de la losa superior (falta de homogeneidad y fallos locales de nervios), hormigones de muy baja calidad (desagregaciones y carbonatación), recubrimientos mínimos o inexistentes (corrosión de armaduras), forjados de poco espesor (deformaciones excesivas) y, por supuesto, un amplio desconocimiento del terreno de cimentación ( fallos por asentos).



En aquellas primeras décadas, las luces medias no solían superar los 5m., empleando las vigas de canto, si bien paulatinamente aumentaron hasta los 6m., y hoy en día, se superan frecuentemente estos valores con vigas planas. Se recuerda que la flecha es proporcional a la cuarta potencia de la luz y al cubo del canto, con lo que este cambio en la tipología estructural ya representa un incremento en la flecha en torno al 35 ó 45%.



Viga 30x70 para L=6,5m (1947)

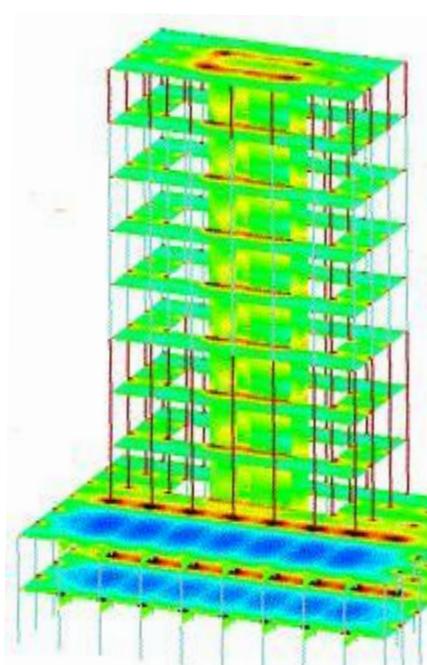


Viga 70x30 para L=6,5m (1997)

Por otro lado, se comenzaron utilizando aceros lisos ordinarios tipo B-220, y hoy se trabaja con aceros de alta resistencia tipo B-400 ó B-500. El límite elástico se ha multiplicado casi por dos y las cuantías geométricas se reducen a la mitad; con ello, la inercia equivalente (directamente vinculada a la flecha) se reduce de una forma considerable. Como resultado, la deformación aumenta de una forma significativa.

También es necesario recordar que el empleo del ordenador como herramienta de trabajo no surge hasta finales de los ochenta, por lo que hasta entonces, el cálculo de forjados era manual y, por lo tanto, a los errores de diseño, malos materiales y defectos constructivos, había que añadir posibles errores de cálculo.

Sin embargo, desde los primeros años noventa, la mayor parte fueron calculadas con programas informáticos. Así, se encuentra que las decisiones del diseño (correcto o incorrecto) se traducen en un modelo directo que el ordenador calcula y dibuja, pero que sólo la intervención directa del técnico puede garantizar que la estructura resultante sea correcta.





El futuro de las estructuras, a la vista de las obras más vanguardistas que se están ejecutando en todo el mundo y del farragoso contenido operativo del reciente Código Técnico, parece apuntar a que los programas de cálculo por ordenador se van a volver no solo imprescindibles sino que, al menos en teoría, extraordinariamente capaces de calcular las estructuras hasta hace poco inverosímiles.

No obstante, tal y como las asesorías colegiales e incluso las compañías aseguradoras están manifestando en el momento actual y de cara al futuro de los jóvenes profesionales, la formación requiere incidir en la problemática de la patología derivada del uso inadecuado de los programas de cálculo por ordenador.

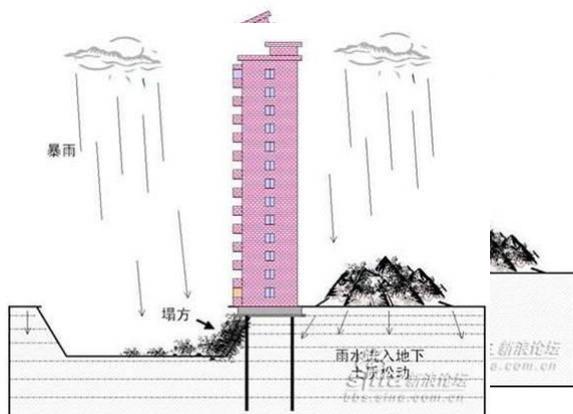
Esto se debe a que algunos edificios estándar, sobre todo de uso residencial, son calculados por personal no cualificado, donde la ciega confianza en los programas informáticos de cálculo, la rentabilidad económica del estudio y los apurados plazos de entrega penalizan la calidad del proyecto estructural.

A día de hoy, se ha avanzado mucho en los temas de durabilidad del material, en el conocimiento de cómo trabajan los diferentes elementos estructurales, se presta mayor atención a la ejecución de la obra, se han incorporado las empresas de control de calidad, los programas informáticos de cálculo facilitan enormemente el trabajo, etc. No parece lógico que se puedan cometer errores graves o que la construcción resulte de baja calidad, sin embargo, la experiencia y las estadísticas, como se verá más adelante, dicen precisamente lo contrario.

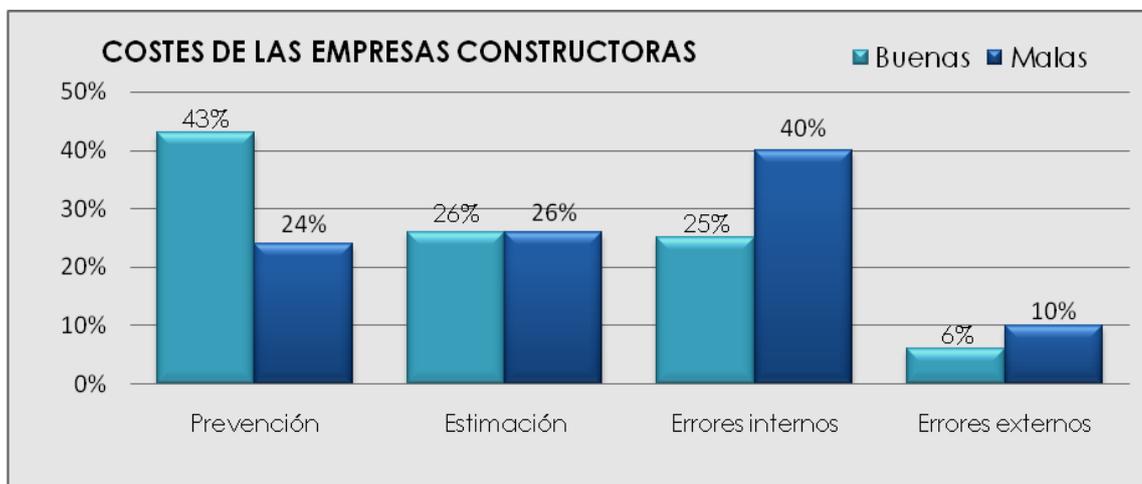
Se mostrará a lo largo de esta tesis como la mayor parte de los fallos graves producidos en la construcción normalmente obedecen a errores por descuidos, por ausencia de control, por cierta negligencia e incluso, desafortunadamente, porque en ocasiones los intereses económicos predominan sobre la seguridad.



Como ejemplo representativo sirva este mediático caso de un edificio que volcó en julio de 2009 en Shanghai, por una excavación incorrecta, que no deja de ser uno de los mayores riesgos en edificación:



La trascendencia del conocimiento preventivo del problema puede redundar en un beneficio económico importante en el mundo de la construcción. La encuesta realizada en 1992 por el Conseil International du Batiment (16), realizó un estudio en Holanda sobre dos grupos de empresas constructoras: el formado por las "empresas malas" (si destinaban a la prevención menos del 25% del coste total) y el las "empresas buenas" (invertían más del 40%). La conclusión es que los costes derivados de los errores acumulados, internos y externos, al final del proceso, resultan claramente significativos:



Así, cuestionar el progresivo aumento de causas de patología, en base a la opinión simplista de que la calidad de los edificios y de los técnicos va en declive, puede resultar precipitado. Es preciso tener en cuenta que:

- Actualmente, los plazos de ejecución de las edificaciones son muy ajustados. Incluso las fases preliminares, con multitud de tramitaciones burocráticas, la redacción de una documentación extensa, o el apremio del agente promotor, reducen el margen de tiempo disponible para la concepción del proyecto.
- La continua aparición de nuevos materiales impide la consolidación de un conocimiento profundo sobre cada nuevo producto, pues cada uno es rápidamente remplazado por otros que despiertan mayor interés.
- La complejidad constructiva de las edificaciones actuales es mayor que en el pasado. Las exigencias derivadas del confort ambiental (aislamientos térmicos, acústicos, energéticos, etc.), la multiplicación de las instalaciones o la profusión de materiales constructivos son un ejemplo de ello.
- El nivel de calidad de la mano de obra no está adaptada a la evolución de esa complejidad. La figura del artesano tradicional prácticamente se ha extinguido, e incluso escasean los operarios especializados en oficios. Es decir, se detecta una importante falta de profesionalización en los agentes más directos de la ejecución.

- Los planes de estudios de los centros universitarios para la formación en la arquitectura han relegado progresivamente la enseñanza de la vertiente técnica, en favor de una sobrevaloración de los aspectos estéticos de la actividad proyectual. Con ello, la formación de los futuros profesionales se adapta cada vez menos a las necesidades reales de su campo de trabajo.
- Las denuncias por parte de los usuarios relativas a lesiones se han generalizado. Actualmente, se han convertido en habituales las demandas por fisuraciones superficiales, baja calidad de los acabados, o expiración del período de garantía decenal; cuestiones otrora popularmente aceptadas y no constitutivas de confrontación judicial.

Por simple probabilidad estadística, varias de las obras proyectadas en la actualidad, a medio-largo plazo, presentarán lesiones de mayor o menor envergadura. Algunos de esos problemas vendrán derivados de la utilización de nuevos materiales o nuevas técnicas constructivas, del empleo de nuevos métodos de cálculo que conlleven luces cada vez mayores o secciones más esbeltas y/o de la propia experimentación estructural. Este grupo de problemas podrían, con ciertas reservas, ser admisibles.



Lo que resulta difícilmente aceptable, es que dentro de un tiempo, estos edificios presenten problemas de patología que se vienen repitiendo desde décadas, por el desconocimiento, por la desidia o por la falta de profesionalidad de los agentes intervinientes.

La formación de los nuevos arquitectos debería incorporar el estudio de la patología: conocer los errores que han cometido otros reduciría notablemente el número de fallos en proyectos futuros. Sin embargo, algunos proyectos encumbrados se ensalzan convirtiéndose en verdaderos objetos mediáticos, mientras que los errores no se difunden, ni siquiera en los medios o publicaciones especializados.

Y, aunque las lesiones que afectan a la construcción son muy numerosas, lo cierto es que tan solo trascienden aquellas que, dada su magnitud, resultan difíciles de obviar. En algunos casos los daños se elevan a la categoría de catástrofe y son los propios *mass-media* los que propagan la noticia, muchas veces desenfocada.

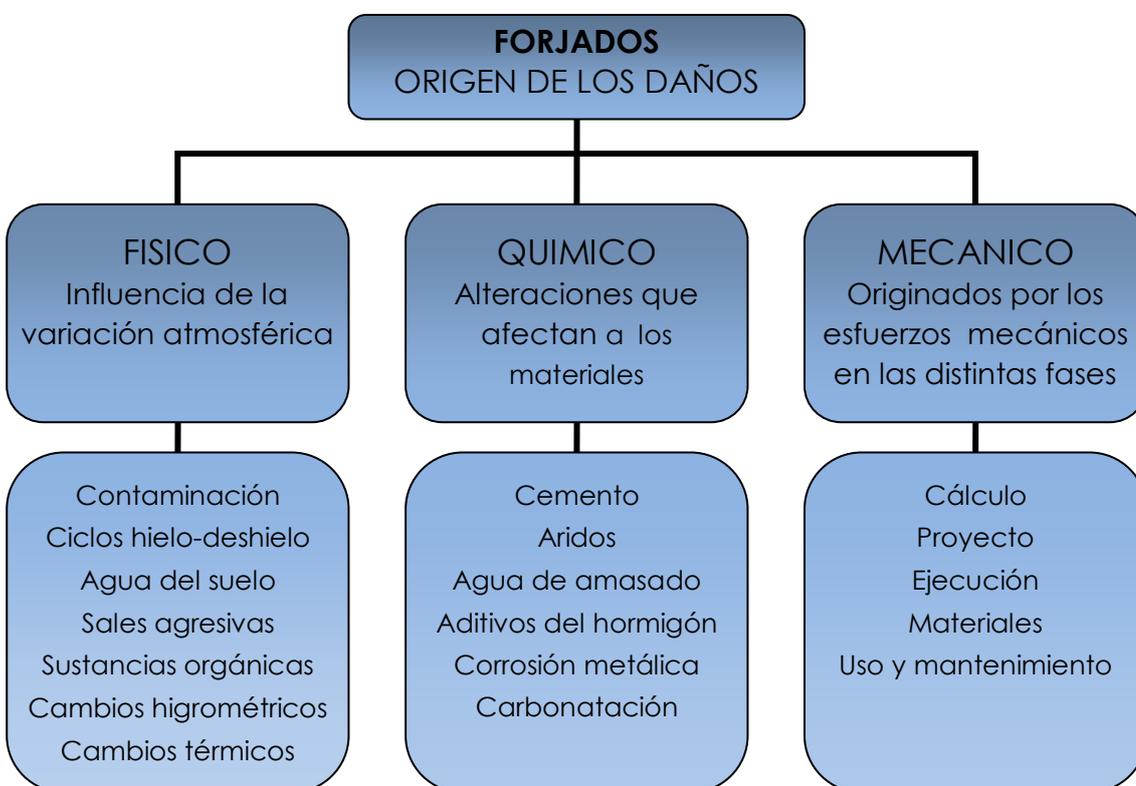


### 2.3.2- CLASIFICACIÓN DE LOS DAÑOS.

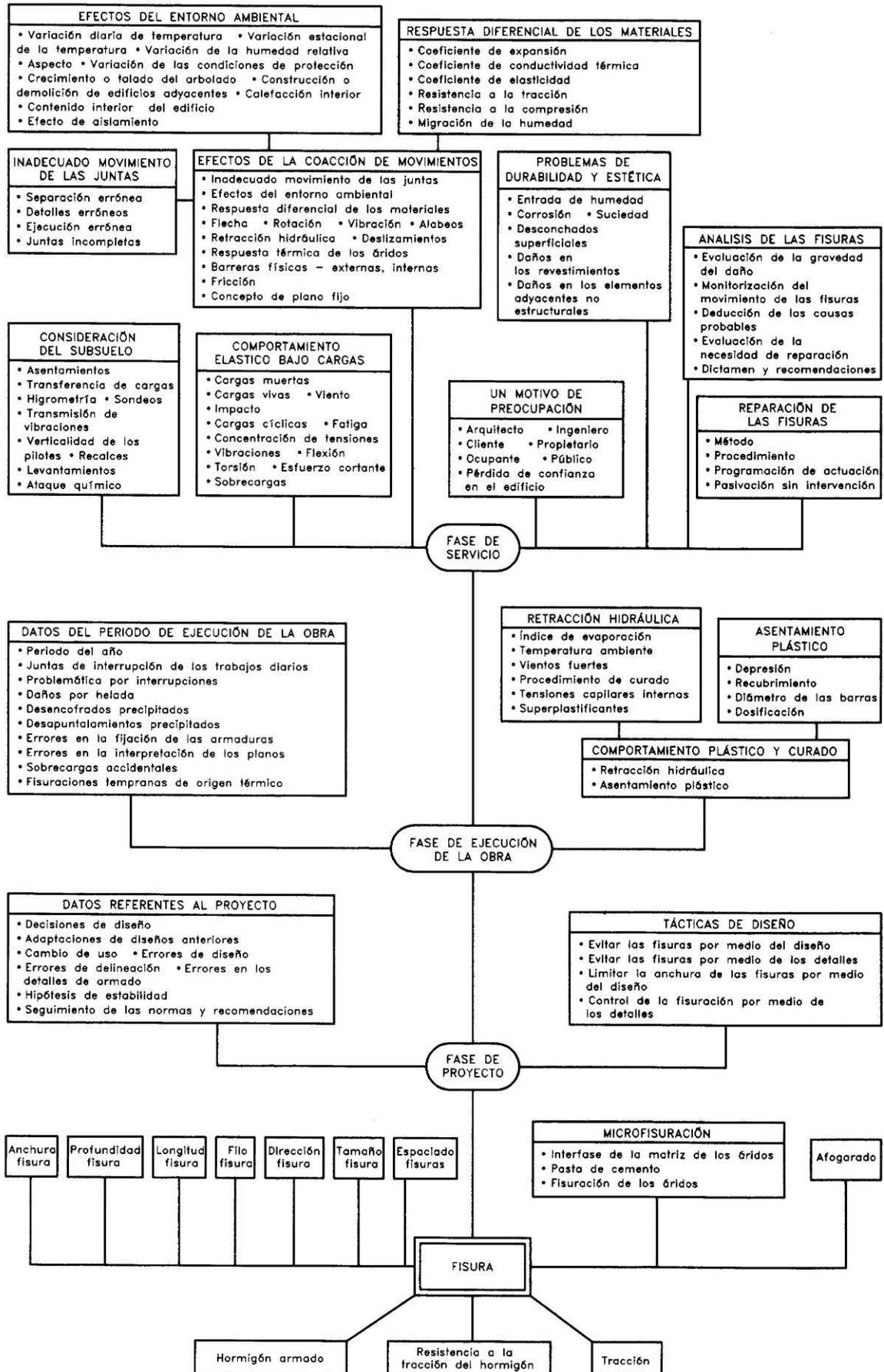
Como se avanzaba en la introducción de esta tesis, sobre el análisis y la clasificación de daños, sí existe abundante documentación bibliográfica.

No obstante, sin pretender ser el núcleo de la tesis, resulta ineludible describir la patología genérica que afecta a los forjados con el fin de fijar, acotar y servir de base a la interpretación y cuantificación de los resultados estadísticos de la misma, pormenorizados con detalle en el apartado de las conclusiones.

Aunque existen diversas clasificaciones de daños, la más estándar consiste en agruparlas según el sector que ha sido afectado: patología de cimientos, de los pilares, del forjado, etc. Dentro de cada una de éstas, se realiza una subclasificación, que en este caso abarcaría los siguientes aspectos:



A modo anecdótico, se muestra el histórico árbol de las fisuras de M. G. Richardson, donde se expone de forma exhaustiva los daños que se pueden ver asociados a las distintas etapas del proyecto:



### 2.3.2.1- DAÑOS DE ORIGEN FISICO.

Un edificio, tal como se desprende del gráfico, se encuentra sometido a diversos agentes agresivos desde el inicio de su construcción hasta su demolición, es decir, a lo largo de su vida útil. La estructura tiene que soportar una serie de factores externos, en ocasiones difícilmente previsibles, como puede ser el caso de la acción del sol, de la contaminación, sales disueltas, ataques de organismos vivos, las variaciones de temperatura y humedad, el envejecimiento, etc. que son el punto de partida de numerosas lesiones:



Acción solar  
temperatura



Contaminación  
CO<sub>2</sub> y sales



Ataque de  
organismos



Ciclos de  
hielo-deshielo

Por otra parte, cabe destacar que las inspecciones realizadas y los datos de ellas obtenidos para la realización de la presente tesis, se refieren a edificaciones realizadas en épocas donde el control sobre los componentes del hormigón (cemento, áridos y agua) eran escasos o inexistentes; consecuentemente, los daños de origen químico han sido muy numerosos.

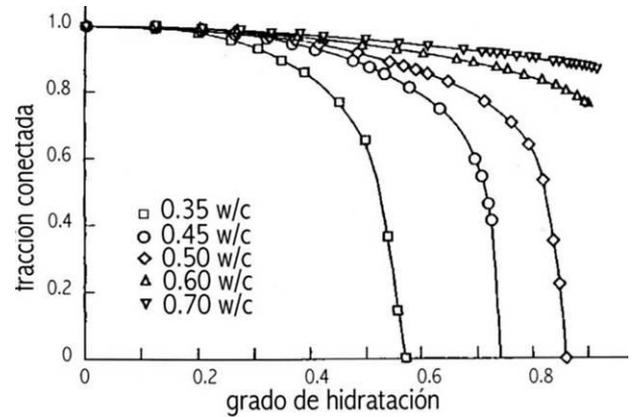
En el pasado, en excesivas ocasiones, se partía de la idea de que el hormigón era un sistema homogéneo, compacto e inerte con el medio que lo rodeaba. La realidad ha demostrado con creces que el hormigón es un material heterogéneo y, sobre todo, muy poroso; constituyéndose una red capilar, a través de la cual se permite la entrada de gases, humedad y otras sustancias disueltas en la atmósfera, agresivas para el material.

En concreto, los hormigones Pórtland empleados en Galicia durante los años sesenta a ochenta, solían disponer de una relación agua/cemento del orden de 0,6 a 0,8, lo que generaba hormigones muy porosos y por tanto, muy propensos a este tipo de afecciones.

Aunque hoy se considera que la relación estrictamente necesaria para hidratar el cemento es del orden del 0,18, no es menos cierto que, para poder manipular la mezcla, sea necesario aumentar a un mínimo de 0,35. De ello se deduce rápidamente que el exceso de agua forzosamente terminará evaporándose, traduciéndose en porosidad.

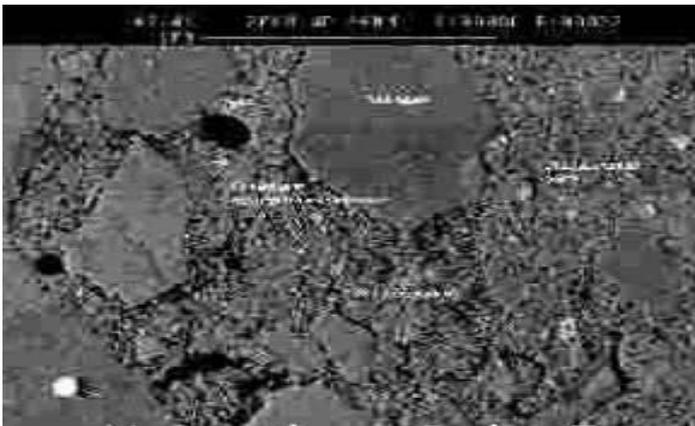
El estudio realizado en 1994 por Bentz y Garboczi (17) estudia la relación entre la capilaridad, como fracción de los poros conectados, y el grado de hidratación del hormigón para distintas relaciones de agua/cemento:

Si la continuidad de los poros se agota para un valor crítico de la hidratación, el parámetro fracción conectada tiende a cero. Este umbral se consigue para todas las relaciones  $a/c < 0,60$ . Por encima de este valor resulta imposible agotar la red capilar y el sistema de poros no perderá nunca la interconexión.



Si a esta problemática, se le añade que el hormigón presenta cierto grado de fisuración desde el primer momento de su puesta en obra (de ahí la importancia del curado, que en Galicia suele ser deficiente), se deduce que el

principal agente agresivo del hormigón será el agua, como vehículo de transporte de los agentes agresivos, que accede a través de las microfisuras y se difunde mediante la red capilar.

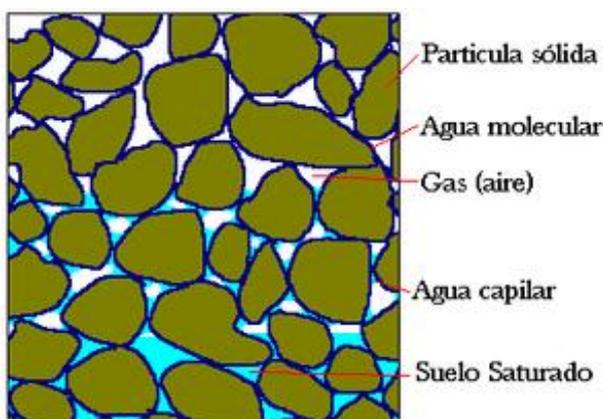


Fotografía representativa de la porosidad superficial del hormigón observada bajo el microscopio (x20).

### 2.3.2.1.a- El agua del suelo.

La agresividad o ataque químico del suelo puede afectar a las estructuras que están en contacto directo o indirecto con él, afectando por tanto a la durabilidad de esas estructuras y, por lo tanto, a su resistencia y estabilidad a lo largo del tiempo.

Si bien es cierto que este tipo de afección se observa preferentemente en cimientos y muros, también se ha detectado en los forjados sanitarios y en la conexión de los forjados a los muros de contención. Esto es debido a que en el terreno se puede encontrar agua en forma capilar, molecular o saturada por niveles freáticos estables o colgados, condensaciones en cámaras bajo forjados sanitarios sin ventilación o escorrentías naturales, por riego o lluvia.



Además, tanto estos parámetros como el tipo y la disposición de estratos y su permeabilidad serán datos relevantes para los diferentes comportamientos bajo carga y, consecuentemente, para el estudio de las diferentes lesiones por asiento que pueden repercutir al resto de elementos de la estructura, forjados incluidos.

También es necesario recordar que el flujo de agua ejerce una corrosión muy superior a la producida por el agua en reposo. Así, en terrenos cohesivos de baja permeabilidad, la corrosión sobre el hormigón se puede considerar despreciable, pero en el territorio gallego, la frecuente presencia de manantiales y cursos de agua subterránea, que arrastran áridos en suspensión, pasan a ser un parámetro a considerar en la degradación del hormigón en contacto con el terreno.

El agua (con sulfatos y cloruros) comienza su labor erosionando el cemento, el cual deja de funcionar como aglomerante; posteriormente, provoca desprendimiento de los áridos finos y, finalmente, se ven erosionados los áridos gruesos, generando el proceso conocido como desagregación del hormigón. Este proceso es lento y empieza generalmente con un cambio de coloración, seguido de la formación de fisuras entrecruzadas que van aumentando progresivamente.

Además, existe la acción del agua sobre las armaduras, que se verá con detalle en el apartado de la corrosión metálica.

También cabe reseñar que las edificaciones ubicadas en las áreas costeras (Pontevedra, Lugo y Coruña), cimentadas bajo el influjo de las mareas, están sometidas a un ataque químico superior que en el resto de los casos. Esto es debido a la acusada presencia en el medio acuoso de sulfatos de calcio, magnesio y sodio, entre otros.



Las aguas se clasifican por su contenido en sales solubles, dependientes a su vez de la naturaleza del terreno por el que discurren. En función de su dureza tradicionalmente se establecen cinco grupos que van desde aguas blandas con un contenido en Ca <15mg/l, hasta aguas duras Ca >300mg/l. Las aguas blandas o muy blandas atacan débilmente al hormigón, mientras que las aguas muy duras son fuertemente agresivas por la presencia de sulfatos.

Otro factor relevante para definir la agresividad del agua consiste en analizar el valor del pH, relacionado con el CO<sub>2</sub> libre, que le dota de un carácter ácido y, por lo tanto, agresivo al hormigón.

Como referencia, se puede observar la clasificación de sustancias desde el punto de vista de la potencial agresividad química al hormigón, la actual Instrucción EHE-08, ya establece la siguiente clasificación, bastante similar a los valores sancionados con anterioridad por el Comité ACI 515:

TIPO DE MEDIO AGRESIVO	PARÁMETROS (mg/l)	TIPO DE EXPOSICION		
		Qa	Qb	Qc
		DEBIL	MEDIO	FUERTE
AGUA	Valor del pH	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	<4,5
	CO <sub>2</sub> agresivo	15 - 40	40-100	>100
	Ión amonio	15-30	30-60	>60
	Ión magnesio	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
	Ión sulfato	200 -600	600 - 3000	> 3000
	Residuo seco	75 - 150	50 -75	< 50
SUELO	Acidez Baumann-Gully	> 20	---	---
	Ión sulfato	2000 - 3000	3000 - 12000	> 12000

SUSTANCIAS AGRESIVAS:

a) **SULFATOS:** este ataque ocurre en aguas con concentraciones relativamente altas de sulfatos de sodio, potasio, calcio o magnesio, tanto en suelos como en aguas subterráneas, superficiales o en aguas de mar.

También pueden presentarse asociados a algunos detergentes industriales caseros, residuos químicos o fugas de aguas fecales, afectando a los forjados de forma incontrolada. Como los sulfatos son muy solubles en agua penetran con facilidad en estructuras de hormigón expuestas a los mismos.



La reacción de los iones sulfato se produce con el aluminato tricálcico del cemento en presencia del agua dando el sulfoaluminato tricálcico, que es la estringita o sal de Candlot, que acaba cristalizando y aumentando hasta 2,5 veces su volumen, lo que genera una fuerte expansión y una posterior desagregación del hormigón. Los daños están en función del tipo de cemento, solubilidad del sulfato, temperatura, permeabilidad del hormigón, etc.

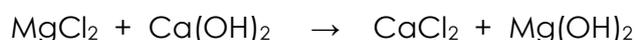
El agua que contiene iones de magnésico también es muy agresiva dada la elevada solubilidad de esta sal. El sulfato magnésico actúa sobre la cal para dar sulfato cálcico.

Según el contenido de aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A) del clinker los cementos serán más o menos resistentes a los sulfatos.

b) **CLORUROS:** este tipo de sales también son perjudiciales pues acaban transformándose en cloruro cálcico soluble. Hay que decir, que la presencia de cloruros relentizan el ataque de los sulfatos cuando aparecen combinados.

Los iones cloro inhiben o atenúan en cierta medida la acción de los sulfatos, ya que dan lugar a un cloroaluminato de calcio hidratado que no es expansivo, o al menos no tanto como la estringita (3CaO,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,3CaSO<sub>4</sub>,32H<sub>2</sub>O). Pero en el caso de que el clinker contenga gran cantidad de aluminato tricálcico y el grado de saturación de iones sea elevado, los iones cloro existentes en el agua de mar no pueden evitar la formación de la estringita, con sus consecuencias.

Como ejemplo típico de edificaciones situadas en el litoral costero, la sal de magnesio contenida en el agua de mar reacciona con la portlandita, generando cloruro cálcico e hidróxido de magnesio:



c) LIXIVIADO O DISOLUCIÓN: Consiste en una forma de erosión química por lavado continuo de las aguas puras o carbónicas sobre compuestos solubles del hormigón. El principal efecto es la disolución de la portlandita o hidróxido cálcico.

Afortunadamente, el proceso paralelo de carbonatación por  $\text{CO}_2$  del aire, provoca la precipitación del carbonato cálcico poco soluble que forma una barrera disminuyendo el peligro.

También se puede producir por el ataque de aguas ácidas, cuya agresividad depende de su Ph (pudiendo tener hasta un valor de pH de 4 y contenido de  $\text{CO}_2$ ; en este caso se forma ácido sulfúrico.

d) SUSTANCIAS ORGÁNICAS: Entre las sustancias orgánicas vivas que contiene el agua del terreno, figuran el grupo formado por algas, musgos y otros, cuya descomposición da lugar a ácidos que atacan al hormigón.



La presencia de bacterias aeróbicas y anaeróbicas, como las tiobacterias, produce fenómenos de oxidación de los compuestos orgánicos, pudiendo aumentar de forma notable la presencia de sulfatos en las aguas así como ácido sulfúrico o anhídrido carbónico.

Por otro lado, algunos compuestos orgánicos como el vino, la cerveza, el cava o la sidra pueden afectar, con el proceso de fermentación desde la descomposición de los azúcares al ácido (láctico, acético, etc.), a los forjados y soleras en tascas, bodegas, pubs, etc.

Son conocidos estos fenómenos en locales de hostelería en Asturias como resultado de escanciar la sidra.

### DAÑOS PRODUCIDOS:

La agresividad del agua conduce a la desintegración de los componentes alcalinos del hormigón, con lo cual, a medio o largo plazo afectará a los siguientes aspectos de los elementos afectados:

- Desagregación o destrucción química del hormigón.
- Pérdida de resistencia mecánica.
- Cambios en la coloración: oxidaciones, eflorescencias.
- Reducción de los recubrimientos.
- Corrosión metálica de las armaduras.

Todos estos aspectos, en los que no se pretende profundizar, hacen referencia al concepto de durabilidad del hormigón, el cual se comienza a introducir con la instrucción EH-88 y a desarrollar con rigor en la posterior EHE-98.

Evidentemente, los hormigones de las estructuras correspondientes a la base de datos que han servido para la redacción de la presente tesis no contemplaban los parámetros de durabilidad actuales, puesto que las edificaciones inspeccionadas corresponden al periodo 1955-1990.

En las inspecciones realizadas en Galicia se han detectado diversos casos de lesiones por ataques de aguas agresivas, especialmente en los elementos de hormigón expuestos y en los forjados en contacto con muros de sótano o contención. Como claro ejemplo de daños graves por ataque de aguas agresivas al hormigón se detectó el caso de un forjado de un local comercial, en la foto, destinado a lavadero de coches.



También se ha registrado algún caso de asiento de zapatas de cimentación, que acabaron por causar fisuraciones a los forjados sustentados, concluyéndose que en dos de estos casos se habían producido lavados del terreno ante la presencia de pozos próximos con nivel freático variable.

Al margen de la tesis, en el ámbito profesional hemos tenido la ocasión de colaborar en un trabajo sobre el Balneario de Lugo donde sí se han detectado múltiples lesiones estructurales, tanto en fábrica de granito como de hormigón armado, debidas a ataques por aguas agresivas con altos contenidos de sulfatos, cloruros, bicarbonatos y álcalis. Igualmente, en sendos trabajos de recalces de edificaciones de los años cuarenta, hemos podido constatar el elevado nivel de degradación de los cimientos, tanto del hormigón como del acero, por exposición continuada frente a las mareas.

### 2.3.2.1.b- Influencia de la atmósfera.

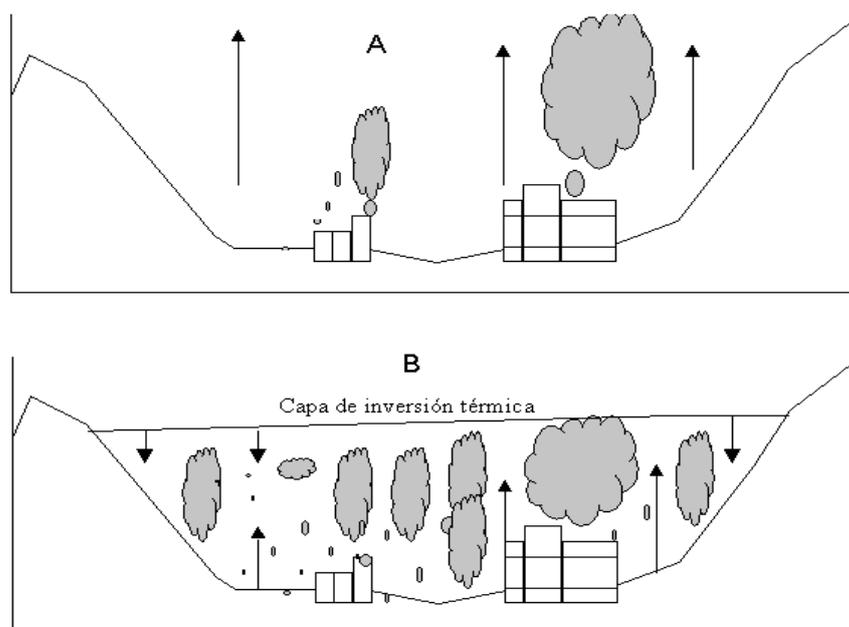
Desde el descubrimiento del fuego el hombre ha contaminado la atmósfera. Sin embargo, hasta que se empezó a utilizar el carbón como combustible en el siglo XIX este problema no comenzó a adquirir una cierta relevancia. El aumento vertiginoso de consumo de los combustibles fósiles por la industria, las instalaciones calefactoras y eléctricas, y el transporte en los últimos decenios, ha agravado el problema de la contaminación urbana progresivamente.



Contaminación en Pekín durante los Juegos Olímpicos de 2008

Como es sabido, la atmósfera está constituida por un conjunto de fluidos sometidos a condiciones variables de humedad, presión y temperatura que afectan de muy diversas formas al hormigón armado y con ello a los forjados.

En una atmósfera normal la temperatura disminuye en torno a 1,0 °C cada 100 metros en la zona más próxima a la superficie de la tierra; esto establece el gradiente térmico normal. Pero bajo determinadas condiciones orográficas y climatológicas este gradiente puede alterarse (inversión térmica) de tal manera que a una determinada altura la temperatura del aire puede ser superior a la de una altura inferior.



A: Gradiente térmico normal

B: Gradiente alterado o inversión térmica

El problema que se deriva de la inversión térmica consiste en que se impide la dispersión vertical de los gases, humos y otros contaminantes enviados a la atmósfera por las industrias, actividades urbanas, etc., incrementándose con ello la concentración de la contaminación atmosférica. Los principales gases que de esta forma se acumulan en los entornos urbanos o industriales son:

GASES	AIRE LIMPIO (p.p.m.)	AIRE CONTAMINADO (p.p.m.)
CO <sub>2</sub>	320	400
CO	0,10	40/70
CH <sub>4</sub>	1,50	2,50
N <sub>2</sub> O	0,25	variable
NO <sub>3</sub>	0,001	0,20
O <sub>3</sub>	0,02	0,50
SO <sub>2</sub>	0,0002	0,2
NH <sub>3</sub>	0,01	0,02

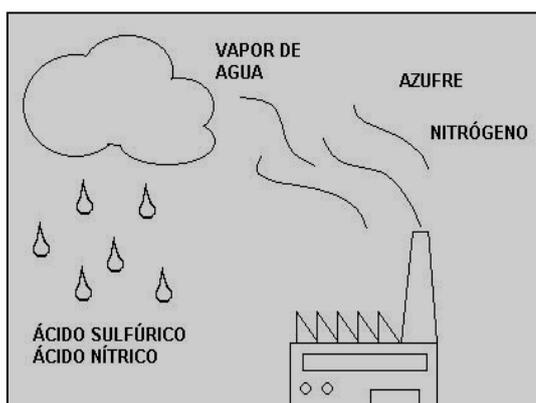
Se mostrará como de cada uno de estos gases se desprenden efectos tales como la carbonatación, cavitación, corrosión, disgregaciones, reacciones químicas varias, eflorescencias, etc., más acusados en los elementos de hormigón expuestos.

En el trabajo desarrollado hasta ahora, ha resultado cuando menos curioso confirmar la concentración de lesiones por carbonatación y la consiguiente corrosión de armaduras en las áreas costeras de Coruña, Ferrol y Vigo.

## EL AGUA, LA HUMEDAD Y LOS CAMBIOS HIGROMETRICOS

AGUA: en forma de precipitaciones provoca que los contaminantes secos emanados de las industrias o del tráfico rodado (bióxido de sulfuro, óxidos de nitrógeno, etc.) retornen a los suelos, a las aguas o directamente a los elementos constructivos en forma de lluvia ácida.

El agua de la lluvia combinada con el viento azota las fachadas y las cubiertas dependiendo de la situación geográfica y de la época. De esta forma se origina un gradiente de presiones en las caras interior y exterior del elemento de hormigón expuesto, penetra en los poros del hormigón y disuelve las sales solubles como, por ejemplo, el hidróxido de calcio en el caso de la carbonatación, que se analizará más adelante.



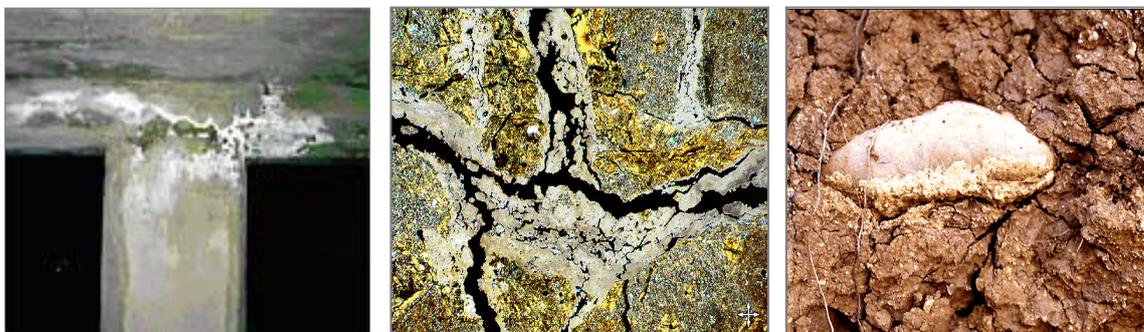
HUMEDAD: en forma de vapor de agua incrementa la incidencia de los agentes agresivos, favoreciendo la acumulación de sustancias nocivas o reaccionando con ciertos aniones. Estas agresiones resultan más acentuadas en las zonas marinas, urbanas e industriales.

Como ejemplos, citar que el azufre se transforma en ácido sulfúrico; el nitrógeno en ácido nítrico; el anhídrido carbónico en ácido carbónico. De forma similar ocurre con cloruros y fluoruros al acabar como ácido clorhídrico y fluorhídrico respectivamente.

Al evaporarse el agua en el interior de los poros del hormigón, se cristalizan las sales, produciéndose la aparición de tensiones internas que meteorizan los hormigones pobres y disgregan los de tipo medio.

Además, la presencia de estas sales dentro del hormigón genera zonas anódicas y catódicas que, sumadas a la presencia del vapor de agua como electrolito, producen corrientes internas que conducirán a la corrosión de las armaduras.

Las eflorescencias son depósitos blancos de carbonato cálcico que pueden aparecer en la superficie de hormigones. Se deben a la migración del agua capilar hacia el exterior del material, la cual sirve de vehículo al hidróxido de calcio. Una vez en la superficie, el agua se evapora y el hidróxido de calcio reacciona con el anhídrido carbónico del aire, dando lugar al carbonato cálcico insoluble:



Rabot y Dutruel (18) estudiaron por separado el fenómeno de aparición de eflorescencias mediante diversos ensayos de laboratorio, llegando a la conclusión común de que las eflorescencias dependen de la naturaleza del agua de exudado, de la relación agua/ cemento, de la pluviometría local y de la velocidad de evaporación.

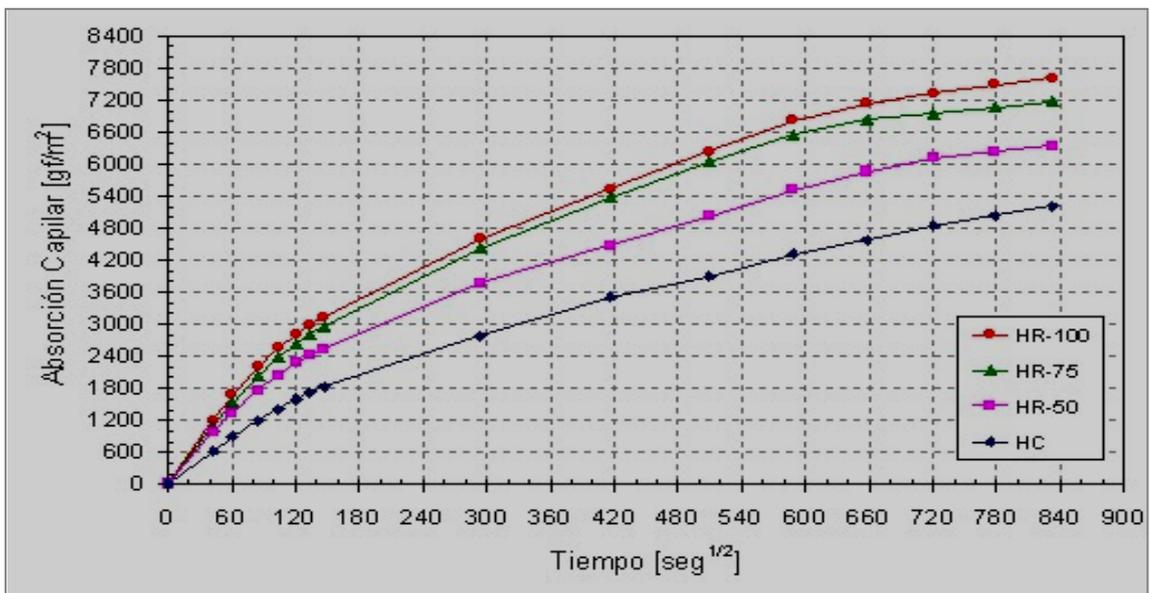


Sales de carbonato cálcico en un forjado expuesto  
Barrio de Esteiro en Ferrol (Coruña)

## ACCIÓN DE LA TEMPERATURA Y LOS CAMBIOS TÉRMICOS

La combinación de la temperatura con la humedad relativa es perjudicial al hormigón, amortiguado a elevadas humedades y agravado a humedades bajas. En cualquier caso, experimentos realizados en laboratorio demuestran que a una profundidad de 35cm, el hormigón es prácticamente insensible a las variaciones de temperatura estándar.

Los ciclos de hielo-deshielo unido a la absorción capilar del hormigón, en áreas donde la temperatura desciende por debajo de 0°C, genera un problema peor que una helada prolongada. El agua al congelarse aumenta su volumen del orden del 9%; si el espacio ocupado por el aire libre de los poros es igual o inferior a ese valor, la expansión producirá tensiones que lo pueden llevar a su disgregación. El siguiente gráfico de Zega, Taus y Di Maio (19) aporta una relación gráfica entre el tiempo y la absorción capilar en el hormigón:



Se han identificado algunas lesiones por variaciones dimensionales en elementos expuestos en el área urbana de Orense (con altas temperaturas continuadas y por encima de los 40°C), con fisuración en fábricas y forjados por saltos térmicos en los espacios situados bajo cubierta orientadas al sur, carentes de ventilación. Esto es debido a que las fábricas cerámicas presentan coeficientes de dilatación del orden de  $7 \cdot 10^{-3}$  mm/m°C mientras que el hormigón ofrece valores del orden de  $11 \cdot 10^{-3}$  mm/m°C.



### 2.3.2.2- DAÑOS DE ORIGEN QUÍMICO.

Los numerosos daños encontrados de origen químico y referentes al propio hormigón obliga a realizar un análisis previo sobre la naturaleza física de sus componentes (cemento, áridos, agua de amasado y aditivos), así como el proceso de puesta en obra y su endurecimiento (procesos de hidratación y retracción). A su vez, son parámetros que influyen directamente en la protección de las armaduras frente a los daños por corrosión.

Con la experiencia acumulada a lo largo de las inspecciones realizadas, se puede deducir que no es suficiente la mejora progresiva de unos determinados hábitos para hacer del hormigón armado un material imperecedero. Resultan fundamentales las condiciones intrínsecas del propio material, los factores ambientales y, en su caso, la operación de mantenimiento que es preciso definir.

#### 2.3.2.2.a- El hormigón y sus componentes.

Si bien en instrucciones anteriores ya existían ciertos articulados, hasta la entrada en vigor de la EH-98 no se afrontaron, de forma seria y contundente, conceptos específicos referentes a la durabilidad tales como el tiempo de curado, la limitación de la anchura de las fisuras en función de las condiciones ambientales, la obligación de los separadores, una mayor especificación de las condiciones ambientales de exposición para la determinación de los recubrimientos, los contenidos de agua y cemento, la resistencia frente a las heladas, el agua del mar, la erosión, la reactividad álcali-árido, etc.

Así pues, a pesar de la evolución de la normativa, muchos de los aspectos relacionados con los hábitos inadaptados al concepto de durabilidad no habían evolucionado lo suficiente ni se habían tratado de corregir con especificaciones de proyecto eficaces.

Se pueden citar el empleo de áridos inadecuados, la elección de dosificaciones ateniéndose sólo a la resistencia mecánica, las propias condiciones de su puesta en obra con compactaciones insuficientes y a curados inexistentes. Como ejemplo obsérvese la foto al margen.



EL CEMENTO:

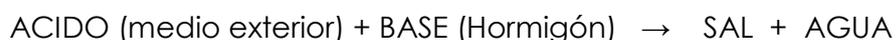
El cemento, entre el 25 y el 40% del volumen del hormigón, es el compuesto básico encargado de la ligazón de los diferentes elementos. Los cementos tradicionalmente empleados en el territorio gallego son los cementos pórtland, es decir, compuestos por clinker Pórtland y otras sustancias añadidas del tipo puzolanas, hidráulicas, filler calizo, cenizas volantes, etc.

El abanico que proporciona actualmente el mercado, en base a la normativa vigente es muy amplio, en función de las características resistentes que se pretendan alcanzar y la agresividad del entorno en el que se vaya a emplear.

El cemento se compone básicamente de hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), silicato bicálcico ( $\text{SC}_2$ ), silicato tricálcico ( $\text{SC}_3$ ), aluminato tricálcico ( $\text{AC}_3$ ) y ferroaluminato tetracálcico ( $\text{FeC}_4$ ). La resistencia viene definida principalmente por los silicatos, al igual que su módulo de elasticidad. El hidróxido de calcio actúa de tampón y reserva alcalina a través del equilibrio:



El grado de alcalinidad o medida del pH del ambiente es, en la mayoría de los casos, inferior al del hormigón ( $\text{pH}=12,5$ ), por lo que éste se encuentra en desequilibrio con el medio exterior, así pues el resultado que obtenemos será:



Si la sal que se forma no es soluble, ésta formará una barrera de protección frente al ataque; si es soluble, el ataque continuará.

Desde el punto de vista de los daños químicos que pueda sufrir un hormigón, con base de cemento Pórtland, se destacan la acción de los cloruros y sulfatos del agua sobre los compuestos más relevantes del cemento que son el hidróxido de calcio o portlandita, el aluminato tricálcico, los álcalis, la cal y la magnesia.

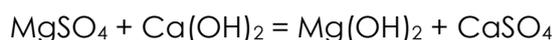
### SUSTANCIAS AGRESIVAS AL CEMENTO:

Los carbonatos alcalinos actúan sobre los aluminatos convirtiéndolos en carbonato cálcico, aluminatos e hidróxidos alcalinos, bajo los efectos del anhídrido carbónico del aire. Este fenómeno, conocido como hidrólisis alcalina, provoca unas graves alteraciones en el hormigón con unas pérdidas de resistencia muy altas.

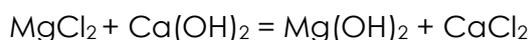
El hidróxido de calcio o cal liberada, procedente de la hidratación del cemento, que se encuentra en la masa en un porcentaje del orden de 20-22% se ve disuelto por el agua de la lluvia, que puede contener anhídrido carbónico, anhídrido sulfuroso, álcalis, sales ácidas, etc. Estos agentes atacan al hidróxido cálcico, dando lugar a fenómenos expansivos, con un incremento de la porosidad del hormigón y, con ello, a un incremento de la permeabilidad, una reducción de la alcalinidad, de su densidad, fisuración y, a la postre, de pérdidas en su resistencia mecánica y corrosión metálica de las armaduras.

En el caso concreto de los cementos aluminosos el hidróxido de calcio reacciona con los aluminatos, generando alúmina pero eliminando el hidróxido de calcio. Este proceso genera unas altas resistencias mecánicas iniciales, pero a largo plazo, y en determinadas condiciones de temperaturas y humedad altas, presentan una regresión importante en sus valores de resistencia mecánica. Son de sobra conocidos los problemas de aluminosis aparecidos al respecto, no en Galicia (Tan solo se conoce un caso en Oleiros), pero sí en otras áreas geográficas (Barcelona, Almería, Sevilla, etc.).

Los sulfatos, sobre todo de magnesio y amonio, son los agentes más agresivos para el hormigón, porque actúan sobre la cal para transformarse en sulfato cálcico, que posteriormente reacciona con el aluminato tricálcico cristalizando en la Sal de Candlot o estringita expansiva. El incremento de volumen es del 2,5 veces superior en el compuesto sulfoaluminato, dando lugar a una fuerte expansión y a la desagregación del hormigón por destrucción del conglomerante.



Los cloruros sobre el hormigón son igualmente peligrosos, debido a la reacción química que arroja cloruro cálcico soluble. En el caso del magnesio:



El agua de mar con alto contenido en cloruro sódico, además de reaccionar con el aluminato tricálcico como expusimos anteriormente, también puede reaccionar con los cloruros solubles, creándose cloroaluminato o Sal de Fridell. En este caso, aunque no produce fenómenos expansivos, se multiplica por cuatro la disolución del hidróxido cálcico y, con ello, la pérdida de alcalinidad.

Los nitratos son menos agresivos que los anteriores, por cuanto son solubles en agua y reaccionan con los componentes del cemento generando sales que se lixivian con facilidad, excepto el caso del nitrato amónico que es altamente agresivo, porque reacciona con la cal y produce amoníaco gaseoso.

Los fosfatos y los carbonatos, no se consideran agresivos para el hormigón.

Los ácidos ejercen su acción agresiva atacando los compuestos cálcicos: hidróxido cálcico, silicato y aluminato cálcico. Este ataque convierte el hormigón en un medio poroso haciéndolo más vulnerable a otros ataques químicos. Igualmente atacan a ciertos áridos del hormigón, como es el caso de los calizos. La agresividad del ataque depende de su concentración y la velocidad depende de la solubilidad de las sales cálcicas resultantes.

Entre los ácidos inorgánicos más agresivos se encuentran el ácido sulfúrico y el sulfuroso, que generan sulfatos cálcicos y por lo tanto, etringita. Entre los ácidos orgánicos más peligrosos, se hallan el ácido acético, el láctico, el oxálico y el húmico. Todos ellos actúan en mayor o menor medida disgregando el hormigón.

Es conocida la reacción entre los álcalis del cemento con ciertos áridos, dando compuestos expansivos. Se analizará este tema en mayor profundidad en el apartado correspondiente.

Otros compuestos agresivos para el hormigón a mencionar son: los alcoholes, hidróxidos, aldehidos, el hipoclorito cálcico, los aceites y las grasas.



Sala situada en el sótano del antiguo Balneario de Lugo con signos visibles de agresión química sobre el cemento.

En cuanto a la velocidad de ataque de los diferentes compuestos químicos, mostramos el siguiente cuadro resumen (ACI-201, 1988):

VELOCIDAD DE ATAQUE	ACIDOS INORGANICOS	ACIDOS ORGANICOS	SOLUCIONES ALCALINAS	SOLUCIONES SALINAS	VARIOS
RAPIDA	Clorhídrico	Acético		Cloruro de aluminio	
	Fluorhídrico	Fórmico			
	Nítrico				
	Sulfúrico				
MODERADA	Fosfórico	Titánico	Hidróxido de sodio 20%	Nitrato de amonio	Bromo
	Amonio			Sulfato de amonio	Sulfito líquido
				Sulfato de magnesio	
				Sulfato de calcio	
LENTA	Carbónico		Hidróxido de sodio 10-20%	Cloruro de amonio	Cloro
				Cloruro de magnesio	Agua de mar
				Cloruro de sodio	Agua dulce
DESPRECIABLE		Oxido tartárico	Hidróxido de sodio 10%	Cloruro de calcio	Amoníaco
			Hipoclorito de sodio	Nitrato de zinc	
			Hidróxido de amonio	Cromato de sodio	

DAÑOS PRODUCIDOS: Las principales manifestaciones patológicas debidas al ataque químico sobre el cemento son:

- Falso fraguado: por la hidratación rápida del yeso.
- Retracción excesiva por el excesivo calor de hidratación.
- Fenómenos de expansión.
- Disgregación y/o desagregaciones.
- Pérdida de resistencia mecánica.
- Cambios en la coloración: oxidaciones, eflorescencias.
- Fisuración y/o reducción de los recubrimientos.
- Descenso alcalino y posterior corrosión metálica de las armaduras.

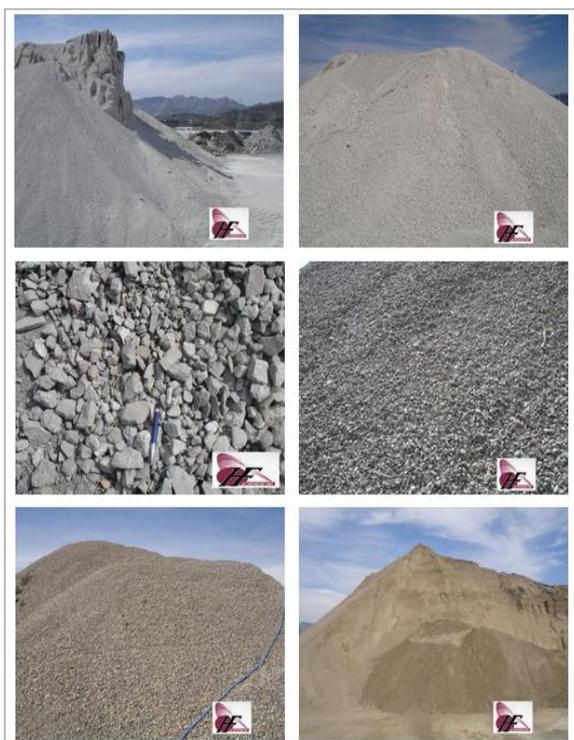
Uno de los problemas que conviene recordar es que los cementos utilizados en los edificios gallegos del período que abarca esta tesis apenas estaban sometidos a control alguno; es más, en numerosas ocasiones el hormigón se realizaba a pié de obra mediante hormigonera manual, con lo cual la mayoría de las dosificaciones se hacían por *paladas*.



En las inspecciones técnicas realizadas en Galicia se han destacado diversos casos de lesiones por ataques químicos sobre el hormigón en las edificaciones de la zona costera de Ferrol, dado que a principios de los ochenta se extendió el uso de elementos de hormigón visto en el nuevo polígono de Esteiro. En estos casos, dada la inviabilidad de ensayos de laboratorio en el proceso de inspección, no se pudo objetivar el tipo específico de ataque químico:



Ejemplos de ataque químico sobre el cemento de las viguetas (Ferrol),

LOS ÁRIDOS:

Son los diferentes materiales granulares inertes que se utilizan en la dosificación del hormigón y constituyen entre el 70 y el 80% del volumen total de hormigón.

El problema de los áridos en el ámbito de la patología química no versa sobre el tipo que se utilice (granulometría, textura, tamaño máximo, etc.), lo cual afectará directamente a la resistencia mecánica, sino en las sustancias que pueden acompañarlos, interfiriendo en la hidratación del hormigón, en la adherencia con la pasta del mortero, en las exigencias del agua de amasado, en la reactividad con los álcalis del cemento, etc.

Los áridos empleados no pueden ser reactivos frente a los componentes del hormigón ni a los agentes externos a los que van a estar expuestos una vez colocados en obra.

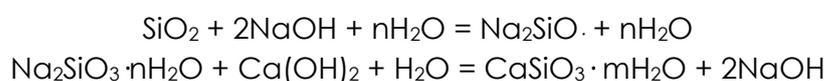
En términos generales, las condiciones impuestas, en % del peso total de la muestra, por la instrucción EHE-98 en su art. 28º, son:

LIMITACIONES DE SUSTANCIAS PERJUDICIALES		Cantidad máx.	
		Árido fino	Árido grueso
Terrones de arcilla		1,00	0,25
Partículas blandas		---	5,00
Material retenido por tamiz 0,063		0,50	1,00
Compuestos totales de azufre expresados en iones $SO_3$		1,00	1,00
Sulfatos solubles en ácidos expresados en iones $SO_3$		0,80	0,80
Cloruros	Hormigón armado	0,05	0,05
	Hormigón pretensado	0,03	0,03

El exceso de finos arcillosos, bastante corriente en áridos procedentes del machaqueo, pueden producir bajas importantes de la resistencia mecánica.

Los áridos con compuestos de azufre o sulfuros oxidables, como el caso de pirrotina, piritas, marcasitas, etc., aún en pequeña cantidad, resultan peligrosos para el hormigón por cuanto reaccionan con el cemento dando compuestos expansivos que destruyen la masa de hormigón; no obstante, no consta ningún caso en el territorio gallego.

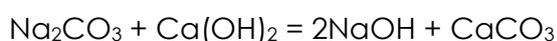
Los áridos de naturaleza silícea, como ópalos, tridimitas, calcedonias, dolomitas y dacitas, también pueden generar fenómenos expansivos en el hormigón en ciertas condiciones higrométricas. Se produce la conocida reacción álcali-árido, producida entre los álcalis del cemento y el árido de estas sílices. La reacción química se produce al ser atacados los minerales silíceos por los hidróxidos alcalinos derivados de los óxidos de sodio y potasio. El gel resultante produce una fuerte expansión, generando fuertes tensiones internas en la pasta el cemento que fisuran el hormigón superficialmente y en la dirección de los esfuerzos de compresión. La reacción producida es la siguiente:



Si los áridos contienen carbonatos como el magnesio o calcio, se obtendrá hidróxido magnésico ligeramente expansivo:



A su vez, el carbonato sódico generado en la reacción anterior, puede reaccionar con la cal liberada del hormigón, regenerando los álcalis y reiniciando el proceso:



Los áridos que presentan cloruros pueden aumentar el riesgo de corrosión metálica de las armaduras, siendo más acusado en el caso del hormigón pretensado.

En términos generales, se consideran perjudiciales los siguientes tipos de áridos:

- Áridos ferrosos: silicatos, sulfuros oxidables o compuestos ferrosos.
- Áridos de origen orgánico con sustancias solubles.
- Áridos de naturaleza silícea
- Calizas margosas
- Areniscas friables
- Escorias siderúrgicas
- Rocas heladizas o porosas

**DAÑOS PRODUCIDOS:** Las principales manifestaciones patológicas debidas al ataque químico derivado de los contenidos nocivos de los áridos son:

- bajas importantes de la resistencia mecánica del hormigón
- disgregaciones del hormigón por expansión
- corrosión de las armaduras

Como se ha explicado anteriormente, en las inspecciones técnicas realizadas en Galicia se han detectado diversos casos de lesiones por ataques químicos sobre el hormigón, pero dada la inviabilidad de ensayos de laboratorio en el proceso de inspección no se pudo objetivar si el problema respondía concretamente al uso de áridos inadecuados.

Según testimonios verbales habituales entre los constructores locales y nuestra experiencia en la rehabilitación estructural, el empleo de arena de playa sin lavado previo conteniendo elevados porcentajes de cloruros reactivos permite apuntar como hipótesis probable que sea la causa sintomática de diversos casos de corrosión de armaduras. Sí existen daños documentados en el edificio de la Diputación y en el Hotel Finisterre, ambos en Coruña.



Pilar en sótano de edificio con vestigios de áridos de playa y Conchas de moluscos en la c/Plá y Cancela de Coruña (1946)

EL AGUA DE AMASADO:

La calidad del agua de amasado y curado, que constituye entre el 14 y el 21% del volumen final, depende de su pureza, por lo tanto, de las sales disueltas en la misma. Así el agua puede contener anhídrido carbónico, anhídrido sulfuroso, álcalis, sales ácidas, materia orgánica, ácido húmico y otros.

Estas impurezas del agua, al rebasar determinados límites, generarán diversas reacciones químicas tanto en la hidratación del hormigón como en el fraguado del mismo, redundando en la durabilidad y en la resistencia mecánica, en función de la dosificación empleada.

Mantiene su validez los comentarios aplicados a la clasificación expuesta anteriormente en el apartado de agua del suelo, extensibles a las limitaciones de sustancias nocivas contenidas en el agua desde el punto de vista de la potencial agresividad química al hormigón:

TIPO DE MEDIO AGRESIVO	PARÁMETROS (mg/l)	TIPO DE EXPOSICION		
		Qa	Qb	Qc
		DEBIL	MEDIO	FUERTE
AGUA	Valor del pH	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	<4,5
	CO <sub>2</sub> agresivo	15 - 40	40-100	>100
	Ión amonio	15-30	30-60	>60
	Ión magnesio	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
	Ión sulfato	200 -600	600 - 3000	> 3000
	Residuo seco	75 - 150	50 -75	< 50
SUELO	Acidez Baumann-Gully	> 20	---	---
	Ión sulfato	2000 - 3000	3000 - 12000	> 12000

Las instrucciones de hormigón, hasta la actual EHE-08 en su artículo 27º, han establecido los valores límite que deberán cumplir las condiciones de acidez, sulfatos, cloruros, sustancias orgánicas e hidratos de carbono.

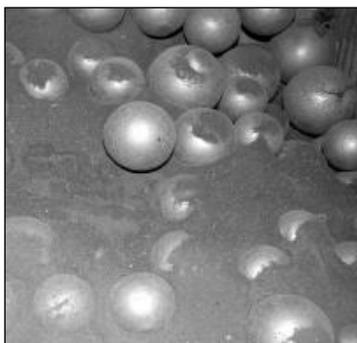
Por otro lado, el agua de amasado es necesaria tanto para hidratar los diferentes componentes activos del hormigón como para lubricar la mezcla y conseguir que ésta sea manipulable. Un exceso de agua se traducirá en una mayor porosidad del mismo, lo que repercutirá negativamente tanto en las condiciones resistentes como en la permeabilidad y, por lo tanto, en la durabilidad del hormigón.

Aunque se puede conseguir la resistencia mecánica prefijada en proyecto con diferentes relaciones de agua-cemento, el hecho de que las diferentes normativas anteriores a la EHE-08 no hayan fijado unos límites máximos se ha traducido a lo largo de las décadas de los sesenta, setenta y ochenta en diversos problemas de patología por ataques químicos, físicos e innumerables casos de corrosión de las armaduras del hormigón, viguetas incluidas.

Las aguas puras procedentes de los ciclos de hielo-deshielo, así como las aguas blandas, resultan agresivas por su bajo contenido en cal. Si además contienen anhídrido carbónico o sulfuroso en disolución, se volverán aguas ácidas, incrementando mucho su poder corrosivo. En este caso, se ha podido contrastar este problema en forjados en contacto con muros de contención de dos edificaciones situadas en Puebla de Trives (a los pies de la estación invernal orensana de Cabeza de Manzaneda).

En edificación costera de la comunidad gallega, la utilización durante el curado de agua sin control, incluso la marina, en los años sesenta y setenta (según argumentos habituales entre los constructores locales), ha generado una sintomatología extensa de eflorescencias. En cualquier caso, aunque bibliografía consultada arroja valores de incidencia que rondan el 15% en la presente tesis no se puede concretar un valor definitivo, pero sí se apunta como hipótesis más probable en muchos de los informes realizados.



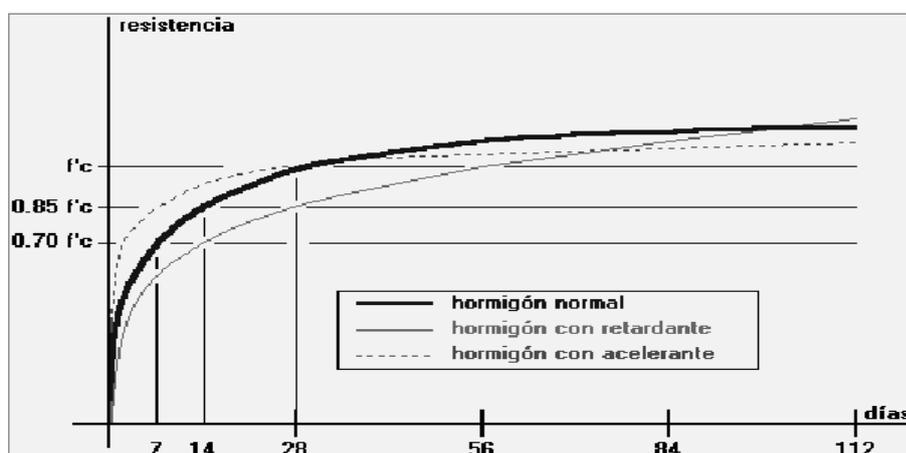
**ADITIVOS:**

Son aquellas sustancias incorporadas en el momento del amasado del hormigón en una cantidad no mayor del 5% en masa, con relación al contenido de cemento en el hormigón, con objetivo de modificar las propiedades de la mezcla en estado fresco y/o endurecido.

El problema radica en una mala dosificación, la falta de uniformidad en la masa de hormigón, los usos inapropiados o sus contraindicaciones.

Es sabido que los aditivos pueden presentar efectos secundarios. Así, un aireante (que mejora la resistencia frente a las heladas) puede producir una caída de resistencia al incorporar un cierto volumen de aire a la mezcla. Otro ejemplo histórico: los graves resultados de la aluminosis en los forjados.

Los más generalizados son los plastificantes, fluidificantes, hidrofugantes, inclusores de aire, expansivos, aditivos para bombeo, colorantes, inhibidores de corrosión o los acelerantes y retardadores del fraguado. Se adjunta el siguiente gráfico:



En el trabajo desarrollado no se ha podido objetivar ninguna lesión de este tipo, no obstante como comentario anecdótico, citar un testimonio cualificado proveniente de una conocida central de hormigón la cual aseguraba que, frecuentemente, ha sido habitual el empleo de retardadores del fraguado para el suministro de obras alejadas de la central, sin dejar constancia del hecho en los albaranes de envío. Como experiencia propia y en confirmación reciente a este comentario, citar el caso de una obra reciente situada en el área interior de Pontevedra, en la que ha habido que derribar varios paños de losa maciza, cuyo hormigón se demostró posteriormente en laboratorio que presentaba un aditivo retardante, añadido en central sin el conocimiento de la dirección facultativa.

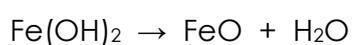
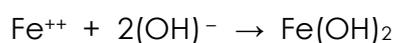
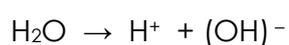
### 2.3.2.2.b- La corrosión metálica.

Cuando se habla de corrosión como una forma de patología del hormigón armado, se hace referencia a un fenómeno de destrucción de las armaduras de acero bajo la acción del medio ambiente: oxígeno, anhídrido carbónico, iones cloro y la humedad. Se manifiesta por la aparición de productos inertes, conocidos como herrumbres, compuestos por óxidos e hidróxidos de hierro, que por aumento de su volumen ejercen una fuerte tensión sobre el hormigón circundante del recubrimiento (hasta 40 N/mm<sup>2</sup>), al cual acaban por fisurar y fragmentar. El resultado final es la pérdida de adherencia del binomio hormigón-armadura.



Corrosión metálica en vigas expuestas a la acción agresiva del medio marino

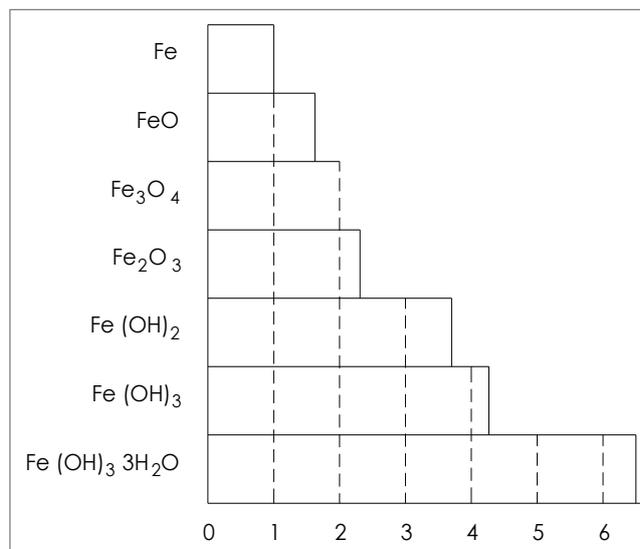
La oxidación del hierro sigue el proceso químico siguiente:



Al depositarse el óxido en la superficie del metal, el proceso es continuo, pasando a formarse hidróxidos, cuyo volumen es superior al hierro y al óxido inicial, lo que justifica la expansión y posterior fisuración del recubrimiento del hormigón.

El esquema adjunto de Vázquez Suñé (20) muestra la relación de volúmenes para los distintos compuestos:

Los procesos de corrosión afectan inicialmente a la estética, posteriormente a la resistencia mecánica de la sección de hormigón armado y, en los casos extremos, a la estabilidad del elemento estructural afectado.



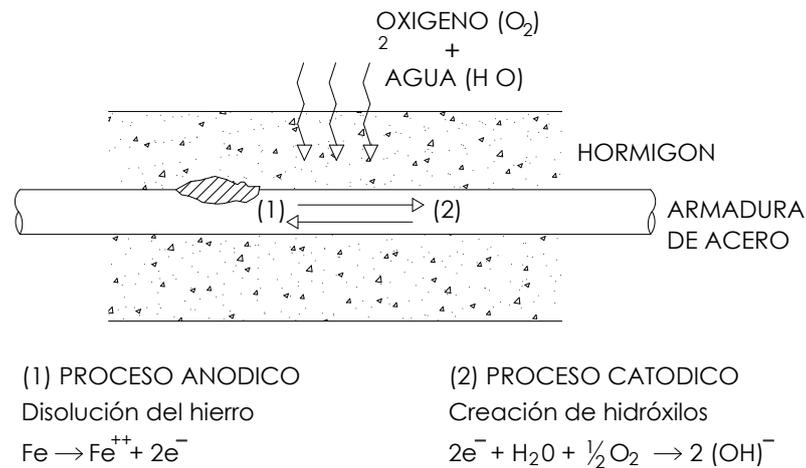
Los procesos que dan lugar a este tipo de patología son los siguientes:

- Carbonatación del hormigón: Aunque se estudiará con detalle más adelante, se puede avanzar que una vez que el hidróxido contenido en el mismo se transforma en carbonatos por la reacción con el dióxido de carbono, el pH inicial de 12 desciende por debajo de 9. A estos niveles el acero pierde la finísima capa de óxidos que protegía al metal (pasividad).
- Presencia de contaminantes: La presencia del ión cloruro en el hormigón ya sea por su presencia en los áridos o por filtración durante la vida del mismo, constituye un desencadenante para iniciar un proceso de corrosión.
- Presencia de humedad: Unos contenidos relativamente altos son los fundamentales para la reacción de corrosión electrofítica, acentuada si las temperaturas son elevadas.

Para que se produzca el fenómeno de la corrosión es necesaria la presencia de oxígeno, de agua y de un catalizador; además, el acero ha de estar previamente despasivado.

Para explicar correctamente este tipo de ataque químico es necesario recordar que es un proceso de naturaleza electroquímica, donde se produce la formación de una pila, con una corriente eléctrica que circula entre determinadas zonas de la superficie del metal, conocidas con el nombre de ánodos y cátodos, y a través de una solución llamada electrolito capaz de conducir dicha corriente y dar lugar a la corrosión de las zonas anódicas.

Este fenómeno de la pila electroquímica de corrosión en el hormigón armado, queda explicado en el siguiente esquema recogido por el grupo GEHO (1994):



Cuando los iones cloro en el cemento adyacente a las barras de acero supera un cierto valor denominado "umbral crítico", la película pasivante que se formó sobre su superficie se altera, originando una celda galvánica en la cual el área atacada actúa como ánodo, iniciándose el proceso de corrosión, que será muy destructivo e imparable.



El cloro actúa como despasivante del acero, mientras que el compuesto por los constituyentes del cemento hidratado, particularmente por los aluminatos formando cloroaluminatos, resulta inactivo en los procesos de corrosión.



Cuando los átomos del ánodo se disuelven para formar los iones, los electrones que se liberan conforman el ánodo negativo. Al pasar al cátodo a través de la masa metálica neutralizan los iones positivos. Por consiguiente, la corrosión es causada por los procesos simultáneos anódicos y catódicos. Y como se verá al final es uno de los daños de mayor repercusión estadística en la edificación.

Cuando se habla de la corrosión metálica en el ámbito de las estructuras de hormigón armado, hay que citar cinco tipos posibles de corrosión química según la sintomatología que presenta:

a) La corrosión uniforme se manifiesta por la formación generalizada de herrumbre en la superficie del metal; la penetración media es similar en todos los puntos. Es propia de viguetas metálicas.



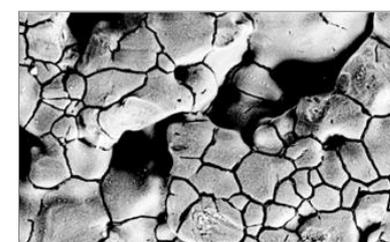
b) La corrosión por picado se manifiesta por puntos aislados de pequeña superficie, que se propagan hacia el interior mediante canales cilíndricos perpendiculares a la superficie.



c) La corrosión selectiva se presenta cuando uno o varios componentes de una aleación se corroen de forma preferente. El aspecto puede ser sano pero produce unas caídas en la resistencia mecánica del material con el consiguiente peligro de rotura frágil.



d) La corrosión intergranular tiene lugar en los espacios que limitan los granos de metal dando lugar a la pérdida de resistencia mecánica y ductilidad. El material intergranular actúa como ánodo y el ataque puede ser profundo.



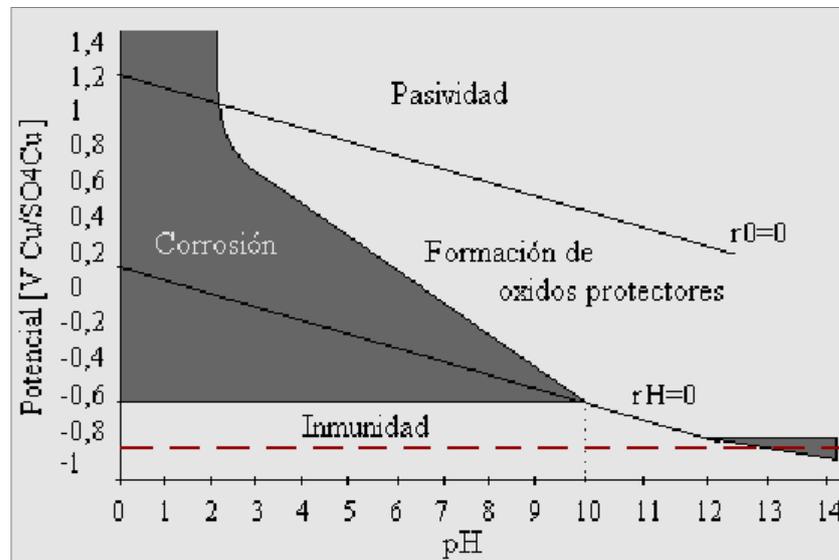
e) La corrosión por agrietamiento que se presenta ante la combinación simultánea de cualquier medio corrosivo y de las tensiones mecánicas de tracción. Influye la frecuencia de los ciclos de carga, la capacidad pasivante, la configuración y el tipo de medio corrosivo.



Además de los tipos de corrosión se debe aclarar que su velocidad es inversamente proporcional a la polarización (la variación de potencial causada por la corriente aplicada o extraída a un electrodo). Así, se dice que un metal está pasivizado cuando, aún siendo un metal activo, se corroe muy lentamente en virtud de su polarización. Existen tres tipos de ésta: por concentración, por activación y por caída de potencial.

El hormigón sano inicialmente ofrece a las barras de acero una buena protección frente a la acción de ambientes agresivos, debido a su elevada alcalinidad con un  $\text{pH}=12$ . Ahora bien, cuando el  $\text{CO}_2$  actúa sobre su superficie carbonatándolo, disminuye su  $\text{pH}$ ; cuanto más baja la porosidad menor será la penetración.

El diagrama de Pourbaix (22) muestra la relación entre el  $\text{pH}$  y la reducción de potencial, el cual proporciona una representación visual de la formación de óxidos protectores o pasivación y la etapa de corrosión:



Al margen de los defectos de ejecución (recubrimientos escasos y fisuras mayores de 0,4mm), el ataque a las armaduras puede provenir de la presencia de ciertas sales corrosivas (cloruros y sulfatos principalmente) en el propio hormigón, combinada con humedad y temperatura. Cuando es el agua de la lluvia el que combina estos efectos se habla de lluvia ácida.

En la siguiente tabla se indican, a modo de ejemplo, los contenidos máximos recomendados de cloruros por el Reglamento CIRSOC, por el American Concrete Institute (ACI) y por la instrucción EHE-08. Nótese las diferencias:

NIVELES MÁXIMOS DE ION CLORO				
HORMIGON	EXPOSICION	ACI (% en peso)	CIRSOC (ppm de agua de mezclado)	EHE-08 (ppm de agua de mezclado)
Pretensado	---	0,06	150	1000
Armado	Humedad + cloruros	0,10	1000	3000
	humedad	0,15	1000	3000
	seco	---	1000	3000
masa	---	---	2000	---

En la siguiente tabla se resume, a modo de ejemplo, algunos valores de profundidad de ingreso de iones cloro y los coeficientes de difusión, determinados experimentalmente, en agua contaminada con distintas concentraciones de cloruro de sodio:

PROFUNDIDAD DE PENETRACION DE IONES CLORO (mm) Y COEFICIENTE DE DIFUSIÓN D (mm <sup>2</sup> /s)						
Tiempo de exposición (días)	TIPO DE CEMENTO					
	NORMAL		PUZOLANICO		ESCORIAS	
	1%	5%	1%	5%	1%	5%
7	7.3	11.5	6.9	9.5	3.5	5.6
21	11.6	16.4	9.2	13.4	5.1	7.3
49	14.5	21.0	10.5	13.5	6.5	8.4
D	4.0	9.0	2.5	5.0	0.8	1.5

Se observa la disminución del ingreso de cloruros en los hormigones elaborados con cementos puzolánicos y de escorias. Igualmente, para todas las edades, el hormigón con cementos de escorias presenta la menor penetración. Esto se debe al refinamiento de poros que se produce en estos hormigones.

Durante el proceso de inspección que sirve de base a este trabajo han sido encontradas numerosas lesiones por corrosión metálica, convirtiéndose a la postre en una de las patologías estadísticas más relevantes, como se expondrá en su momento; avanzando como causas al problema que han resultado harto frecuentes los casos de recubrimientos escasos e inexistentes, así como la baja calidad de los hormigones, encontrando casos de carbonatación acusada que, obviamente, han abierto las puertas al proceso de corrosión.

### 2.3.2.2.c- La carbonatación.



Ha resultado ser el ataque químico más común sobre el hormigón expuesto que se ha detectado durante las inspecciones, más acusado en las edificaciones costeras de Vigo, Coruña y Ferrol.

La armadura de un hormigón recién puesto en obra están inicialmente protegidas frente a riesgos de oxidación por la alta alcalinidad (pH =12,5), el recubrimiento y por la presencia del hidróxido de calcio.

Y así continuarían de forma estable si, a través de sus poros, no penetrase la humedad ambiental con anhídrido carbónico. De esta forma, el hidróxido de calcio del hormigón reacciona con el anhídrido carbónico del aire, dando lugar al carbonato cálcico:  $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}_3\text{Ca} + \text{H}_2\text{O}$

Se produce entonces la disminución de la alcalinidad desde el pH original de 12 ó 13 a otro pH de valor 8 ó 9. A estos niveles de ph se dice que el acero pierde su pasivación, o lo que es lo mismo, la finísima capa de óxidos que recubría su superficie y protegía al metal de otros agentes perniciosos. Por consiguiente, la alcalinidad ya no es suficiente para proteger la armadura comenzando la corrosión metálica, con el aumento local del diámetro, la fisuración del recubrimiento y, finalmente, su desprendimiento.

Los efectos perniciosos están en relación al tiempo de exposición ambiental y a la capacidad de difusión del  $\text{CO}_2$  en los poros del hormigón. Alcanza su máxima difusión para una humedad relativa del 50 al 60%.

De aquí se deduce que el espesor del recubrimiento incide enormemente en los daños causados por este proceso y, por lo tanto, en la durabilidad del material.

En los trabajos de inspección realizados se ha empleado la tradicional solución de fenolftaleína al 2% para confirmar su presencia. Las áreas dañadas con un pH superior a 9,5 adquirirían un tono rosáceo.

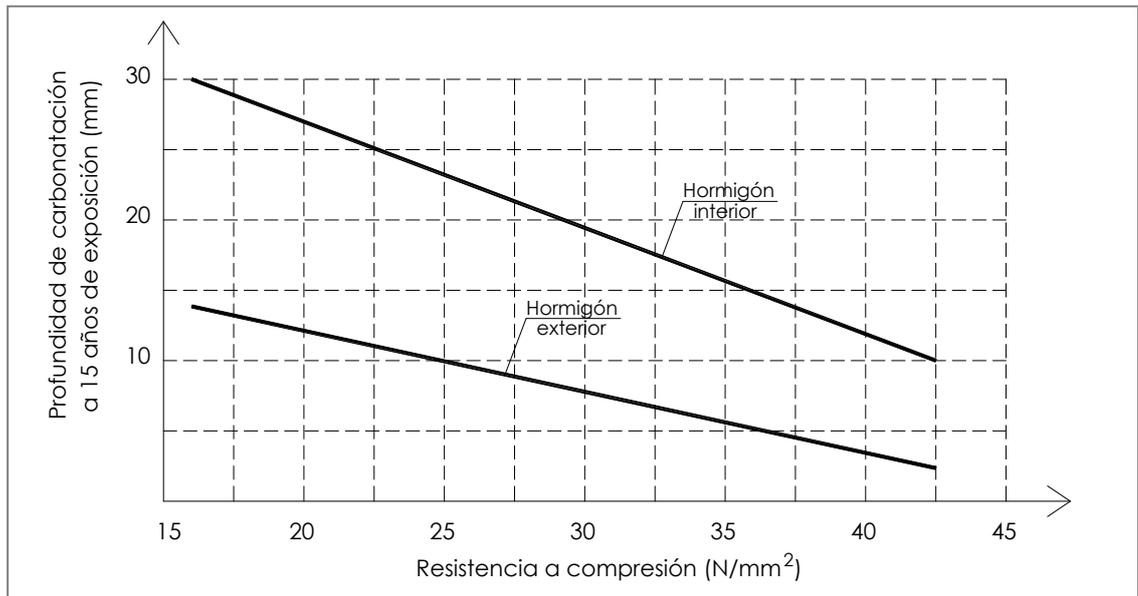


Se puede medir la profundidad de penetración  $X$  en mm. durante un tiempo  $T$  expresado en años, mediante la relación:

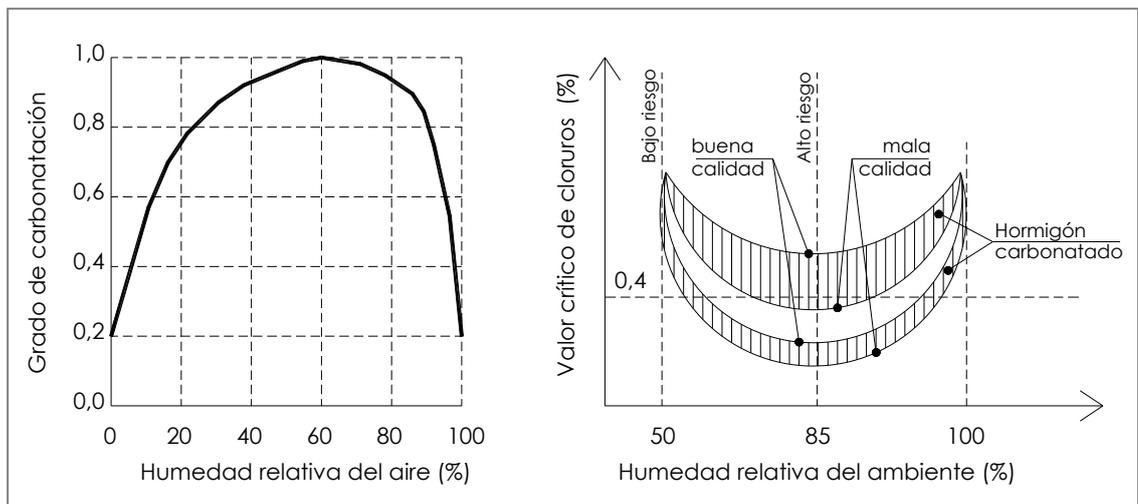
$$X = K \cdot (T)^{1/2}$$

donde  $K$  es un factor de difusión que oscila entre 2 - 6 para hormigones de alta compacidad (contenidos de cemento superiores a  $350 \text{ kg/m}^3$ ) y entre los valores 6 - 9 para hormigones de baja compacidad (inferiores a  $250 \text{ kg/m}^3$ ).

En esta gráfica se relaciona la resistencia característica del hormigón a compresión y la profundidad de carbonatación:



La relación entre el grado de carbonatación, la humedad relativa del aire y el contenido de cloruros queda reflejada en el siguiente gráfico, fruto de las investigaciones de Pazzini y Helene (23) en 1994:



### 2.3.2.3- DAÑOS DE ORIGEN MECANICO.

Como se ha explicado al principio de este capítulo, los daños de origen mecánico son aquellos originados por los esfuerzos mecánicos y que principalmente se manifiestan en forma de fisuras, grietas, deformaciones y roturas.

Se ha optado por establecer una clasificación tradicional en los estudios de patología y acorde con las etapas de todo proyecto: debidos al cálculo, al proyecto, a la ejecución, a los materiales, al uso y mantenimiento del edificio.

Las lesiones debidas a accidentes naturales (fuego, impactos, deslizamiento de ladera, nieve, etc.) se consideran singularidades al margen de las estadísticas, por lo que no se tratará sobre ellas.

Aunque existe abundante bibliografía sobre patología en estructuras de edificación, se ha querido recoger expresamente los daños y lesiones tipo encontradas en este estudio, el área de los forjados de hormigón armado, por dos motivos: por un lado, los resultados preliminares de la inspección realizada sobre el conjunto de edificios nos conducen inexorablemente al mayor porcentaje de daños sobre forjados y vigas; y, por otro lado, con el fin de completar y clarificar la tesis más allá de unos parámetros estadísticos y que sirvan de base a la difusión tanto académica como para el colectivo de profesionales interesados.

Otro aspecto importante consiste en analizar no solo la frecuencia de las lesiones, sino la gravedad de las mismas; así, una fisuración oblicua en el apoyo de una viga (agotamiento por cortante) han resultado, en el trabajo de inspección desarrollado en Galicia, lesiones poco frecuentes e incluso anecdóticas, pero la trascendencia de las mismas podrían ser muy graves.

Aunque se verá con detalle en las conclusiones finales, entre la sintomatología detectada fruto de los problemas enumerados a continuación, se puede avanzar la deformación excesiva de forjados con la consiguiente fisuración tanto de elementos constructivos soportados como de los propios elementos estructurales.

### 2.3.2.3.a- DAÑOS DEBIDOS AL CÁLCULO.

En el período abarcado en esta tesis (1955-1990) era de obligada aplicación la norma MV-101 (Acciones en la Edificación) desde 1962. Paulatinamente fueron surgiendo la NBE-AE-88 similar a la anterior, la Norma Sismorresistente PDS-74, así como las Normas Tecnológicas no vinculantes: cargas gravitatorias (NTE-ECG-76), cargas por retracción (NTE-ECR-73), cargas sísmicas (NTE-ECS-73), Cargas térmicas (NTE-ECT-73) y cargas de viento (NTE-ECV-73).

Es de rigor hacer algunas reflexiones sobre diversos errores en su aplicación, a la vez que también hay que señalar que diversas edificaciones con aparentes errores en la etapa de evaluación de acciones, en base a la memoria del proyecto, no presentaron ningún signo de daños, lo que induce a una reflexión sobre la salvaguarda que presuponen los coeficientes de seguridad.

Recordemos que una de las principales conclusiones del estudio estadístico realizado por J.A. Vieitez Chamosa ya manifestaba la dispar incidencia de daños de las acciones horizontales frente a las acciones variables o verticales:



En este estudio se demostraba que aquellas acciones a las cuales se les dedica tradicionalmente menos atenciones han sido las que arrojaron valores más altos de daños mientras que las acciones verticales, habitualmente consideradas en todos los proyectos, apenas produjeron lesiones.

Los daños resultantes de los errores de cálculo que se expondrán a continuación, unido a la excesiva flexibilidad de los forjados de la época, mostrarán que han resultado importantes y reiteradas, manifestadas primordialmente en la fisuración de tabiquerías, levantamiento de solados y fisuración de falsos techos.

### ESTIMACION DE ACCIONES VERTICALES.

El peso propio de los forjados que proporcionan las citadas normas es orientativo, pero no cabe duda de que lo correcto hubiera sido remitirse en cada caso a las tablas de pesos proporcionadas por los fabricantes. El espesor de la losa superior del forjado tradicionalmente ha presentado oscilaciones significativas en su espesor que alteraron significativamente el peso propio estimado, así un centímetro de hormigón presupone una variación local del orden de  $0,23 \text{ kN/m}^2$ . Los rellenos o nivelaciones de los forjados ante la flecha instantánea o ante contraflechas del encofrado son suficientes para reflexionar sobre la posible desviación en dichos valores.

Los solados tradicionalmente han sido el origen del incremento de cargas permanentes por dos motivos; por un lado, han sido numerosas las ocasiones detectadas en las inspecciones en las que el solado proyectado (ligero) y el solado ejecutado (pesado) no tienen nada que ver; por otro lado, los recrecidos de mortero pueden ser muy superiores a los estimados por diferentes necesidades constructivas (igualación de cotas, paso de instalaciones o rastrelados); hemos ha llegado a constatar valores de 15 cm.

También ha resultado frecuente encontrarse proyectos en los que no se tenían en cuenta los tendidos de yeso en la cara inferior del forjado o el peso de las diversas instalaciones sustentadas.

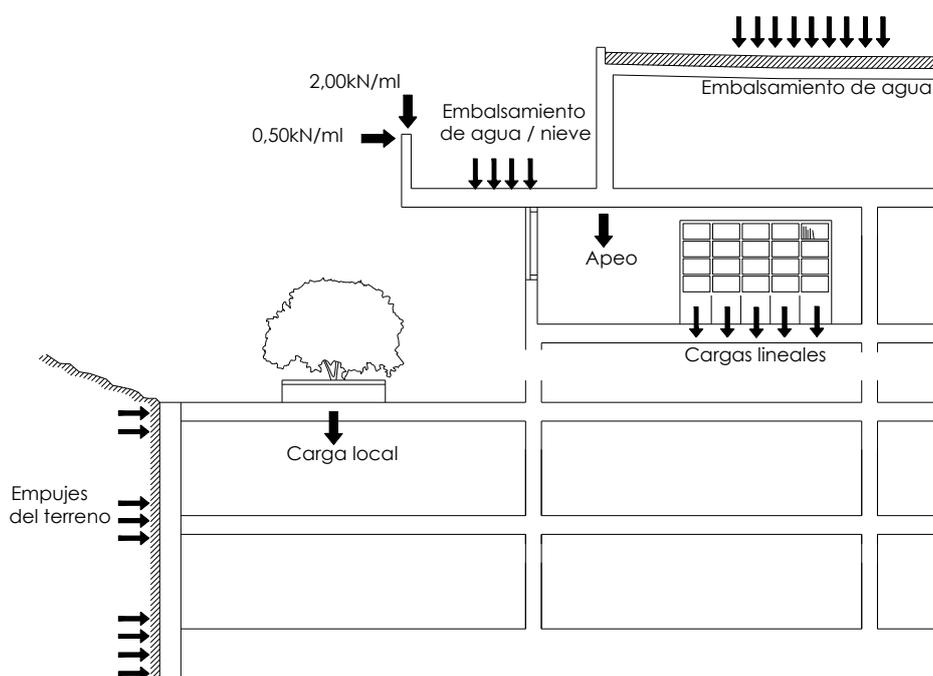
Resulta sintomática la cuantificación nula o errónea de las cargas gravitatorias locales como depósitos de agua, antenas, grandes rótulos publicitarios, rellenos de tierra expuestos a la lluvia, maquinaria e incluso apeos locales, etc.

Así, se han detectado daños reiterados en la planta bajo cubierta ante el uso no previsto de trasteros, así como esculturas o jardineras pesadas sobre forjados de sótano y/o parking, como en este caso de Villagarcía:



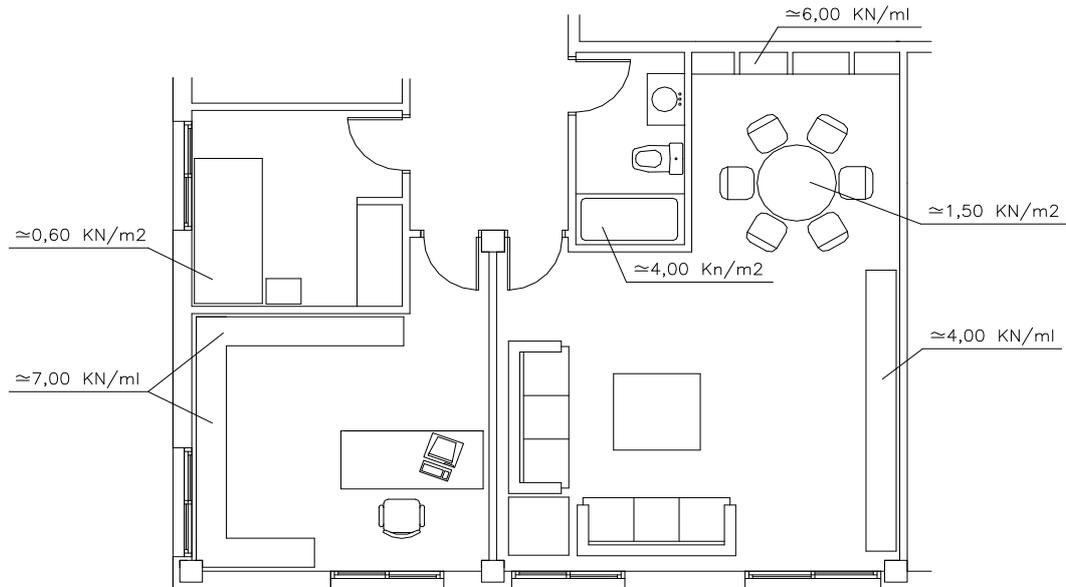
Otro grupo a destacar comprende las acciones imprevistas, como en el caso de las cubiertas planas con escaso drenaje y sus consiguientes problemas de embalsamiento de agua, cambios de uso o compartimentación, almacenamientos transitorios incontrolados, etc.

Por otra parte, los forjados se han calculado generalmente para recibir cargas que se suponían uniformemente distribuidas, pero en el caso de las sobrecargas esta hipótesis es bastante imprecisa por su alejamiento de la realidad, lo cual puede haber afectado seriamente al cálculo y dimensionado, en algún caso particular, de estos elementos. Si bien estas irregularidades se compensan una vez transmitidas las cargas a las vigas y soportes, con frecuencia, las condiciones del forjado pueden resultar más desfavorables, siendo éste el elemento más vulnerable frente a las acciones locales.

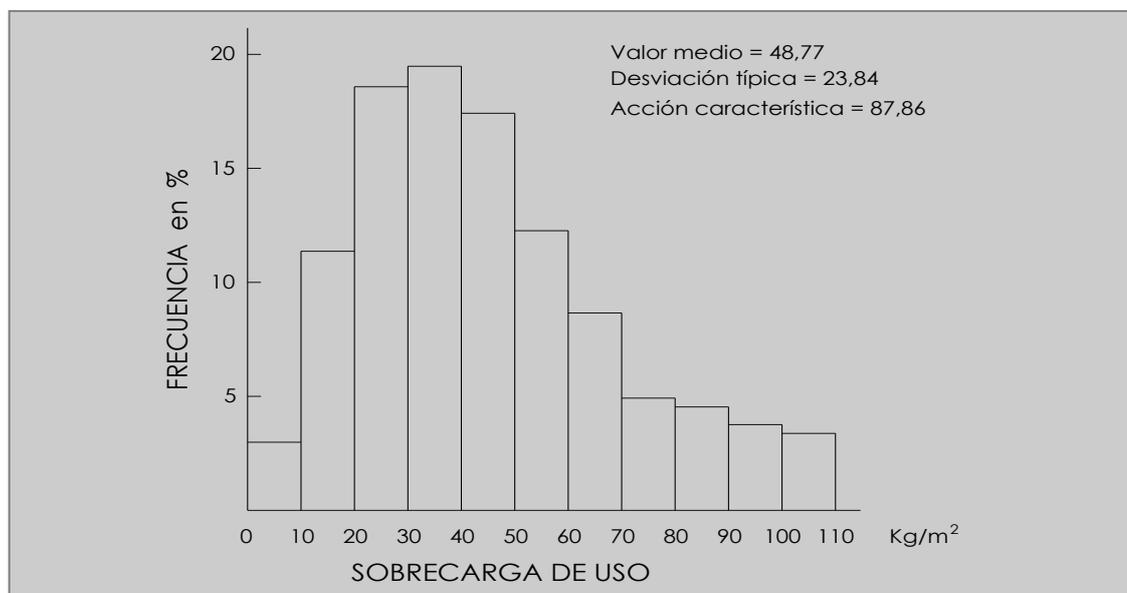


Se puede citar a título de ejemplo los daños derivados del caso de una vivienda utilizada como oficinas con varias librerías pesadas en Santiago de Compostela; una rehabilitación donde se introdujo una generosa bañera tipo jacuzzi sobre un forjado de 18cm de canto en Rivadavia (Orense); y el caso de un propietario que instaló sendos acuarios de 600 y 400kg respectivamente en la misma habitación, en Redondela (Pontevedra).

Del siguiente esquema de una vivienda tipo se pueden deducir las posibles distorsiones de sobrecargas que se originan en una planta de viviendas tipo:



Las sobrecargas de uso ya estaban recogidas explícitamente en la normativa desde la MV-101 de 1962, pero presentan el problema inherente a todas las sobrecargas, que no son probabilistas, lo que introducen ciertas distorsiones en el cálculo. Se acompaña el resultado de una determinación estadística de la sobrecarga de uso en viviendas. Esta gráfica está basada en un muestreo de 625 determinaciones de sobrecarga real, arrojando un valor medio de unos 49 Kg/m<sup>2</sup> y un valor característico de 88 Kg/m<sup>2</sup>:



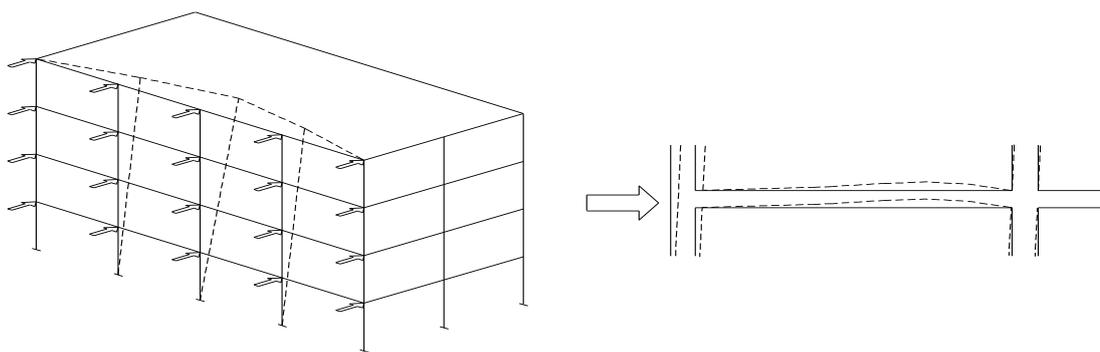
Como se desprende de las desviaciones señaladas, los valores habitualmente contemplados son menores de lo esperable.

## ESTIMACIÓN DE ACCIONES HORIZONTALES.

Los fallos por acciones horizontales son más comunes en tipologías de estructuras de acero o prefabricadas, como el caso de naves industriales u otras construcciones isostáticas. En el estudio de referencia nos hemos centrado exclusivamente en la tipología de vivienda realizada con estructuras de hormigón armado que, en términos generales, no superan más de siete u ocho alturas, por lo que las acciones horizontales no han sido una causa relevante en la casuística analizada.

Aún así, un pequeño grupo de errores detectados provienen de no considerar la componente horizontal de los empujes de las cubiertas inclinadas apoyadas sobre las fachadas de los edificios. Por este fenómeno se han detectado fisuraciones locales en los cerramientos de fábrica cerámica sin mayor trascendencia, pero no lesiones directas en forjados.

Si bien es erróneo considerar los forjados indeformables en su plano frente a las acciones horizontales de viento, como se muestra en la siguiente figura, sin tener en cuenta las transmisiones a los nudos, o la posición del centro de gravedad de las solicitaciones respecto al correspondiente a las inercias, hay que decir que en las edificaciones analizadas, de escasa altura, resulta irrelevante profundizar en el tema.



Inicialmente, en el periodo de los edificios analizados, se puede considerar que en el territorio gallego no hubo sismicidad significativa; además, no era de aplicación en su momento ninguna normativa española al respecto, por lo cual las acciones sísmicas horizontales han sido un tema al margen de la casuística analizada.

En cualquier caso, con norma o sin ella, no se han detectado daños, tal como concluye en su tesis doctoral D. Santiago Muñiz (27).

La adopción del mallazo, introducido con la instrucción EH-73, en la losa superior del forjado puede ser suficiente ante solicitaciones de baja entidad, a la hora de transmitir y absorber los esfuerzos horizontales. También hay que decir que en las edificaciones anteriores a la década de los setenta, ha sido relativamente frecuente encontrar forjados con escasez o inexistencia de la losa superior de hormigón, como en el caso de la fotografía, correspondiente a un edificio en Vivero (Lugo), pero no suponían gravedad alguna.

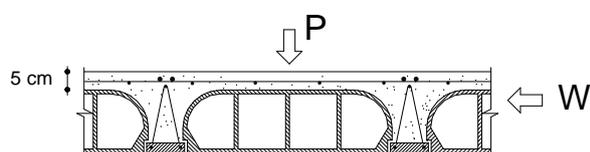


FIGURA 1: Solución correcta. La losa superior contribuye a la distribución de la carga local P entre los nervios o viguetas y transmite las acciones horizontales W.

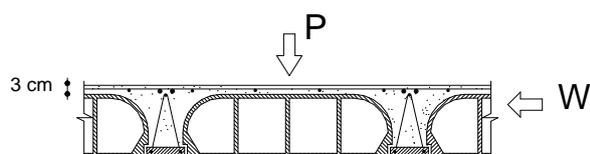
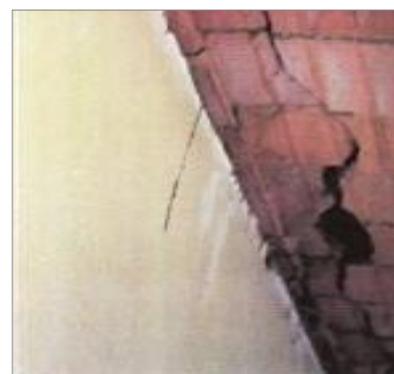
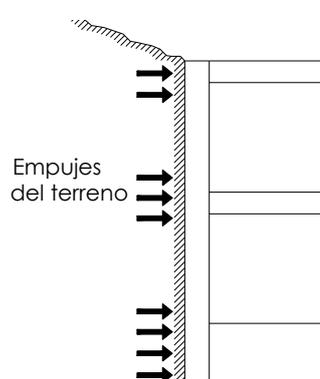


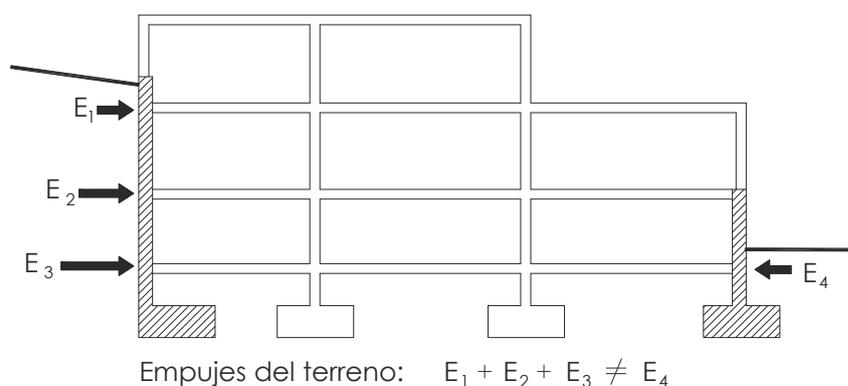
FIGURA 2: Solución incorrecta. El reducido espesor de la losa apenas contribuye a la distribución de la carga local P entre los nervios ni posee la rigidez suficiente para poder transmitir los esfuerzos horizontales W.



En cuanto a la omisión de las acciones horizontales sobre forjados, generadas a través de los muros de contención, provenientes de un drenaje incorrecto de las tierras o de la sobrecarga debida al tráfico rodado sí se han encontrado lesiones sobre los forjados, pero reduciéndose a una rotura de bovedillas cuando la dirección de forja era paralela a dicho muro.



Un ejemplo importante de daños horizontales se ha identificado en tres edificios colindantes de Vigo, en el que el número de sótanos era diferente en un lado que en el opuesto, agravado por una incorrecta cimentación en ladera. Los empujes resultantes de las leyes de equilibrio introducían esfuerzos no contemplados en el cálculo. En este caso se produjeron fisuraciones múltiples, más acusadas en los cerramientos cerámicos.

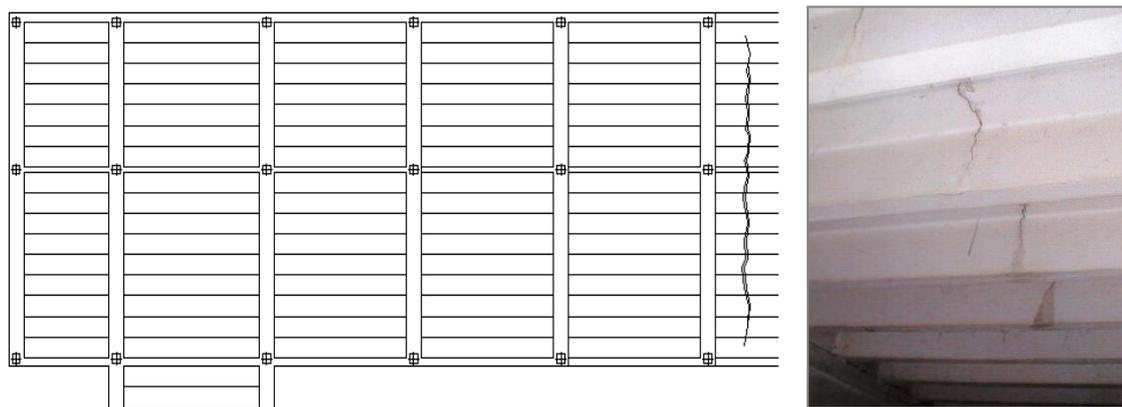


Otro ejemplo de daños horizontales se ha observado recientemente en una edificación de Bayona (Pontevedra), derivados de los anclajes provisionales en las pantallas hormigonadas contra el terreno que, una vez destesados, generaron empujes no contemplados sobre los forjados posteriormente construidos.

Un grupo de errores de cálculo derivan de los empujes horizontales que se generan sobre los forjados al equiparar, en dimensionado y armado, muros de sótano con muros de contención en ménsula, en las zonas colindantes con las rampas de garaje o patios abiertos.

También resulta un hecho que las sollicitaciones mecánicas derivadas de las cargas de origen térmico y/o reológico no han sido consideradas en la inmensa mayoría de los cálculos de estructuras ordinarios en edificación de viviendas según conclusiones de la tesis de D. Valentín Lamas (15).

Tan solo se ha registrado un caso grave de lesiones de origen térmico, y se trataba de un forjado de cubierta plana de unos 46m. de longitud, sin junta de dilatación, en la localidad de Maceda (Orense), donde las oscilaciones térmicas sí son importantes. La rotura del forjado se detectó en la zona más débil, aproximadamente sobre el eje de simetría del edificio y coincidiendo con el extremo de la armadura de negativos:



No obstante, en términos generales, tanto el uso habitual de las juntas de dilatación como las reducidas dimensiones en planta de los edificios estudiados no conllevaban riesgos inherentes. A esto habría que sumarle la consideración de la escasa oscilación térmica que presenta a lo largo del año el territorio gallego, exceptuando zonas concretas del interior de las provincias de Orense y Lugo.

Los daños resultantes de los errores enumerados afectaron a diversos elementos en cada caso y, evidentemente, la sintomatología presentada ha sido tan variable como leve en cuanto a su gravedad, por lo que no se profundiza aquí.

## MÉTODOS DE CÁLCULO.

Hay que considerar el hecho de que el cálculo de estructuras en la mayor parte del periodo estudiado era, obviamente, realizado a mano, con el empleo de modelizados poco rigurosos (en su mayoría realizados por las empresas suministradoras), sin contemplar el estudio simultáneo de diferentes hipótesis de cálculo y/o modelos incorrectos como los representados en las figuras inferiores, de los cuales se han detectado suficientes ejemplos en las cuatro provincias gallegas:

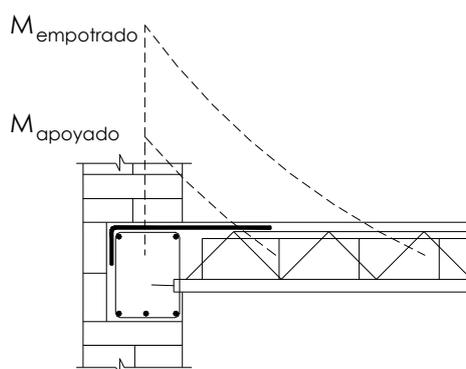


FIGURA 1: El giro en el apoyo está impedido por la fábrica superior y aparecerán momentos negativos superiores a los previstos para un simple apoyo y la armadura inicialmente proyectada resultará insuficiente.

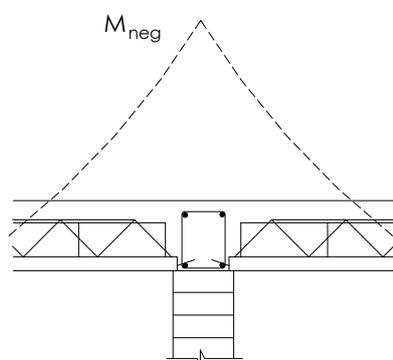


FIGURA 2: Error al proyectar los forjados sanitarios como tramos aislados y simplemente apoyados en los muretes sin especificar el empleo de viguetas autoportantes. No existe armadura para absorber el momento negativo indicado.

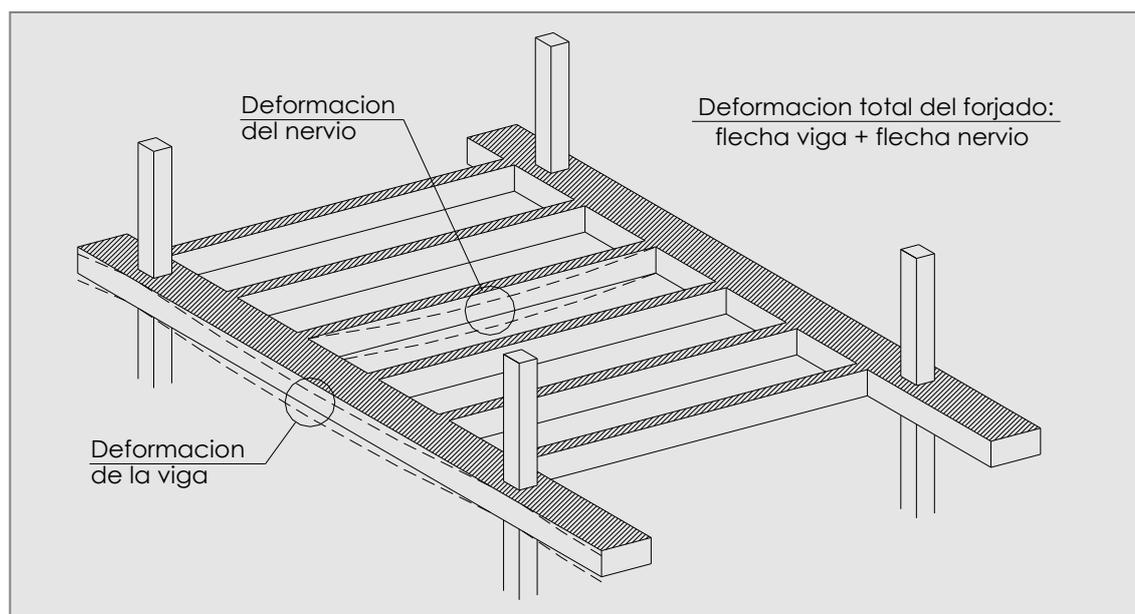


No ha sido hasta los primeros años noventa cuando el ordenador forma parte intrínseca del cálculo de estructuras ordinario. En cualquier caso, conviene volver a incidir que un programa de cálculo de estructuras en manos de una persona sin los conocimientos adecuados puede originar problemas realmente importantes, como se observa con cierta frecuencia en la actualidad.

Pero con mucha diferencia, la ausencia de cálculos destinados a prever la deformación de un forjado, ha provocado el conjunto de lesiones más importante (uniformemente dispersos por toda la comunidad gallega), detectado durante la inspección técnica realizada.

La ausencia de exigencias mínimas de esbeltez, hasta las prescripciones específicas del canto incorporadas a la EH-88, en la mayor parte de los proyectos analizados, el diseño y dimensionado del forjado resultaban fijados por cuestiones resistentes, obviándose el problema de la deformación. Además, a efectos de deformación, en las normas anteriores no se contemplaba el cálculo con la inercia fisurada ni se tenía en consideración la flecha diferida.

Conviene recordar que la deformación del forjado está condicionada por la capacidad a flexión y a torsión de las vigas sobre las que apoya; así, en el punto medio de un paño, la flecha total será la suma de la flecha del propio forjado combinada con las flechas de las vigas en las que descargue.



Así, la deformación total producida en un elemento de hormigón sería la suma de las diferentes deformaciones parciales que se producen a lo largo del tiempo, es decir, la flecha activa y la flecha diferida (incluye deformaciones por fluencia, por retracción y por relajación de las armaduras activas).

### 2.3.2.3.b- DAÑOS DEBIDOS AL PROYECTO.

Abarca los casos de patología que engloba todas las lesiones que tienen su origen durante el proceso de redacción del proyecto, ya sea por falta de conocimientos en su momento, por escasez en la documentación aportada, o, lamentablemente, por negligencia.

Se debe aclarar que, en términos generales, no se ha tenido acceso a la documentación de proyecto referente a las inspecciones técnicas realizadas. Tan solo en casos concretos, ante la aparición de daños que requirieron una intervención posterior, se procedió a investigar la documentación original del proyecto.

#### ERRORES DE DISEÑO



Los errores de diseño son difíciles de cualificar y cuantificar. Un apeo mal concebido sobre un forjado, como el caso de la foto (Arteixo-Coruña), puede no presentar lesiones si está correctamente dimensionado y armado.

En la mayoría de estos casos, entre un mal diseño y otro mejor, lo que sí implica, es un mayor coste económico en el proceso constructivo para alcanzar los mismos valores de seguridad, resistencia y rigidez que el mismo elemento bien diseñado, arrojando armados excesivos o el sobredimensionado de secciones.

Hay que partir de la premisa de que en las edificaciones estudiadas de los años sesenta y setenta, era habitual que los planos de estructura fueran extremadamente básicos, pues muchas veces no se trataba más que del despiece de unas vigas y pilares tipo junto con simple esquema de la planta de estructura, incluso sin armado del forjado. Esta forma en que se diseñó la estructura en general, y el forjado en particular, ha jugado un papel muy relevante en las lesiones a largo plazo, la economía del material y su comportamiento.

Una práctica habitual heredada ha consistido, en ciertos proyectos, en introducir la estructura con posterioridad al proyecto arquitectónico, generando trazados poco sensatos y agravada por la errónea opinión relativa a la solvencia de los coeficientes de seguridad.

En otras ocasiones, el apremio por parte del cliente y los plazos disponibles en la redacción de un proyecto, conllevaron una falta de reflexión, una escasez de detalles gráficos o un cálculo poco riguroso, que ciertamente afectaron a la calidad del proyecto estructural.

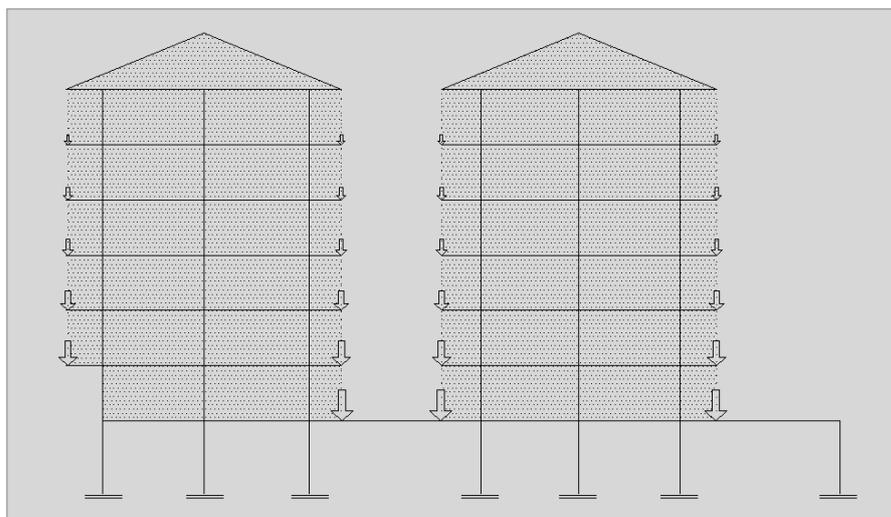
También ha habido ciertas cuestiones o estudios previos que rara vez se han tenido en cuenta y que en ocasiones concretas han sido fuentes de serios problemas: la información sobre tendidos eléctricos, aéreos y subterráneos, anclajes de muros pantalla, conducciones de alcantarillado, abastecimiento de agua y gas, cursos de agua subterráneos, túneles, minas, cimentaciones adyacentes, etc.



Un factor, fruto de la tan manida globalización, ha sido no considerar las condiciones geográficas y climatológicas del emplazamiento. Se ha podido comprobar en varias ocasiones como la resolución de cubiertas planas, el empleo de fábrica de ladrillo visto en cerramientos exteriores o el uso de pinturas no transpirables, conllevaron problemas en el territorio gallego, que no hubieran sido tales en el lugar de origen del equipo proyectista.

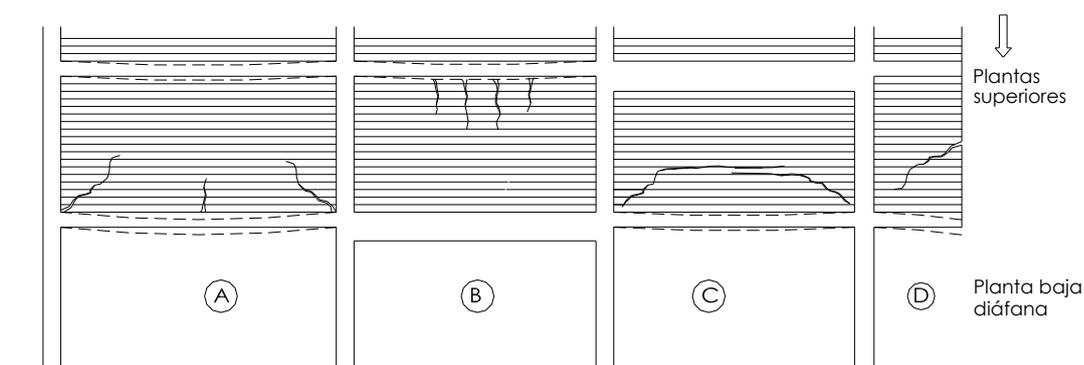
Pero entre todos los problemas de diseño, el de mayor incidencia estadística en esta tesis ha sido la tipología habitual consistente en plantas altas subdivididas por tabiquerías y las bajas muy diáfanas para su uso como locales o garajes. En múltiples ocasiones, con pocos milímetros de flecha en vanos y voladizos, han entrado en carga los cerramientos inferiores, que han ido transmitiendo los esfuerzos por arcos de descarga, consecutivamente desde la planta superior a la planta inferior diáfana, donde la carga es superior a la prevista y, consecuentemente, la flecha de estas vigas y forjados resultó máxima por falta de rigidez.

Como consecuencia de esta acumulación de cargas se producen la mayor fisuración de los cerramientos de la planta situada inmediatamente encima de la diáfana, que pueden presentar esquemas diferentes de rotura según las rigideces que presente el dintel superior e inferior del paño y más acusado en el caso de los voladizos, como se desprende de la siguiente figura:



Las tipologías de fisuras en las tabiquerías inferiores han coincidido generalmente con estos cuatro esquemas:

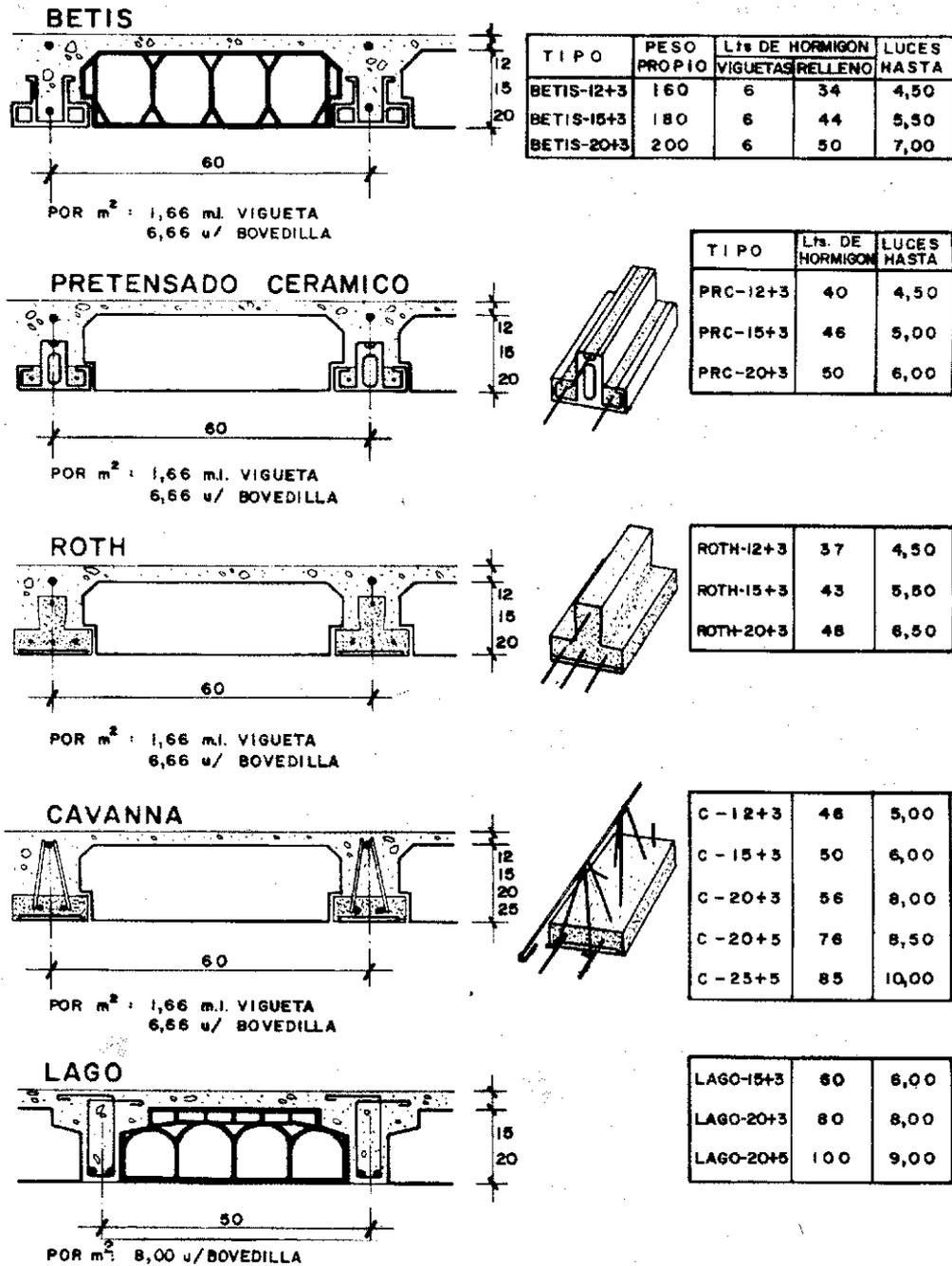
- A) Ambos dinteles, superior e inferior, presentan similar deformabilidad.
- B) La deformabilidad del dintel superior es mayor que el inferior.
- C) La deformabilidad del dintel inferior es mayor que el superior.
- D) Fisuración de la tabiquería sobre voladizo sin rigidez suficiente.



Las deformaciones más llamativas que se ha podido contrastar en este trabajo se han producido inequívocamente asociadas a los primeros usos de vigas planas, donde la flecha total tiene una componente importante en la flecha diferida a largo plazo, bajo la acción de la carga permanente y el comportamiento reológico del hormigón. El empleo generalizado de estas vigas planas, combinadas con cantos exigüos y uniformes ante geometrías

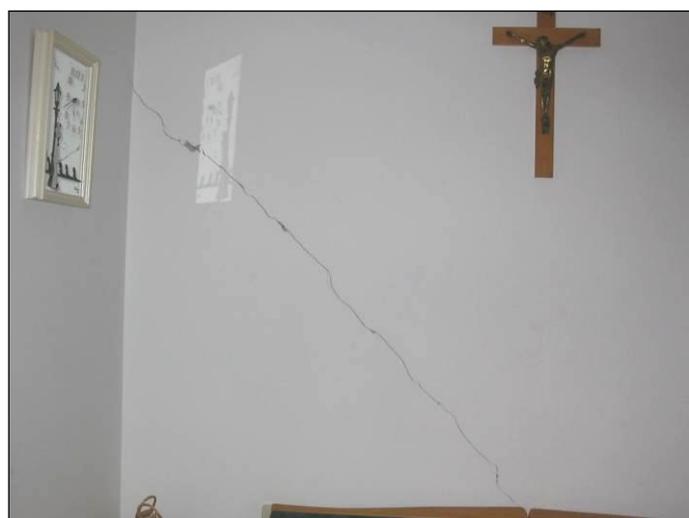
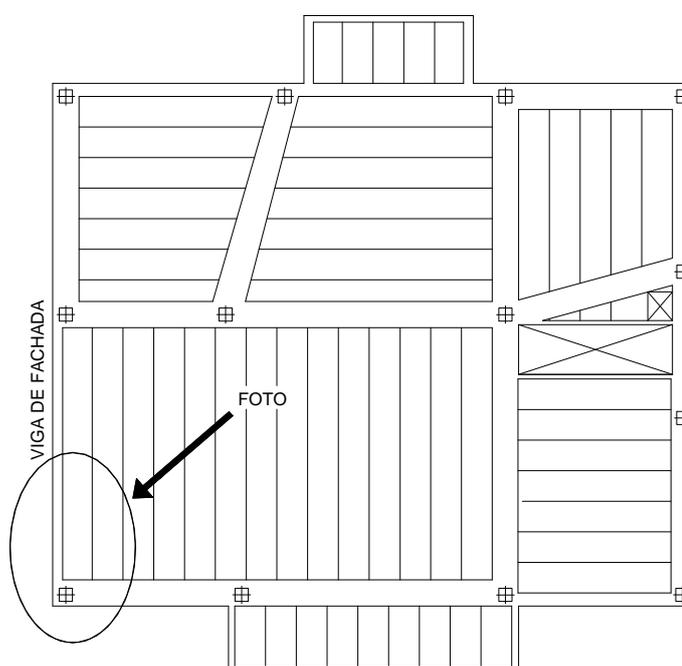
muy diferentes, ha llevado durante muchos años a estructuras excesivamente flexibles con cerramientos muy rígidos.

A modo ilustrativo, se muestra una ficha publicitaria de forjados empleados en las edificaciones españolas de la época, donde se observan las soluciones y los cantos empleados en aquel momento (Fuente: Regalado Tesoro, F). En Galicia, era frecuente el forjado modelo Dull, del que lamentablemente no ha sido posible obtener una ficha:



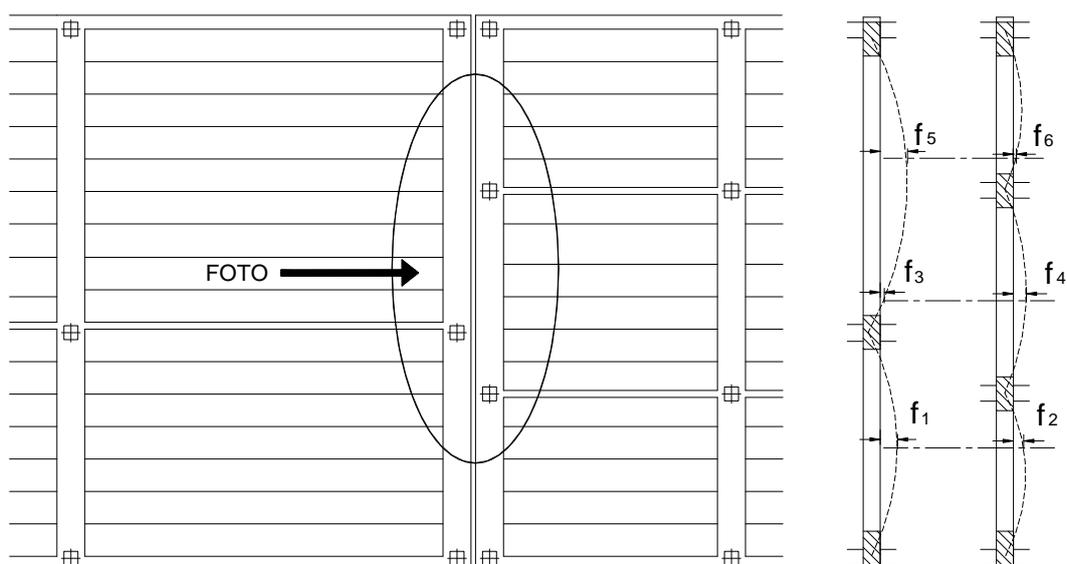
Entre los errores de diseño encontrados se halla la falta de continuidad de los paños de forjado, originando mayores esfuerzos y/o deformaciones; el caso de trazado de pórticos que obligan a los pilares a trabajar a flexocompresión esviada; voladizos con vuelo perpendicular a la dirección de forja adyacente sin ninguna disposición constructiva correctora, generando en ocasiones casos de vigas sometidas a torsión o la evaluación errónea de las condiciones de borde del forjado.

Se muestra como ejemplo representativo este caso real encontrado en Carballiño (Orense), resultando fisurada la fábrica de cerramiento soportada, ante el error de diseño (escasa rigidez) de la viga de fachada:



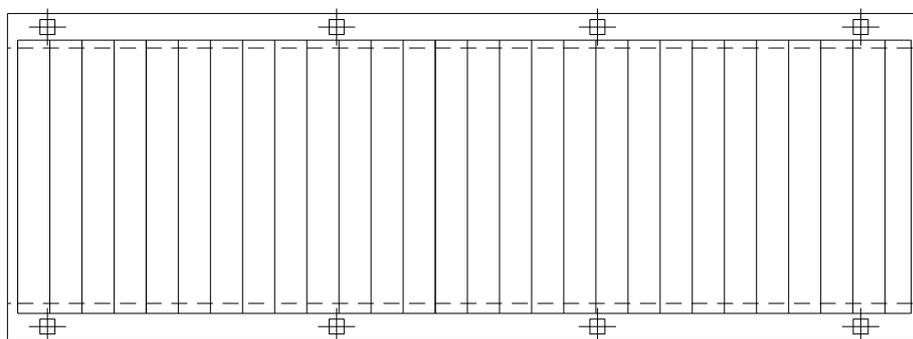
Otro grupo de lesiones detectadas, más reducido, corresponde al diseño erróneo de las juntas de dilatación, al no prever que las vigas pareadas que conforman la junta presenten una geometría similar en cargas, secciones y luces, para que acusen una deformación parecida. En este caso han resultado daños en los pavimentos en continuidad por flechas diferenciales, como se desprende de la figura inferior, correspondiente a un edificio de Porriño (Pontevedra).

Una solución para compatibilizar deformaciones podría haber sido vincularlas mediante conectores o sistemas similares, con la debida precaución en la fase de cálculo.

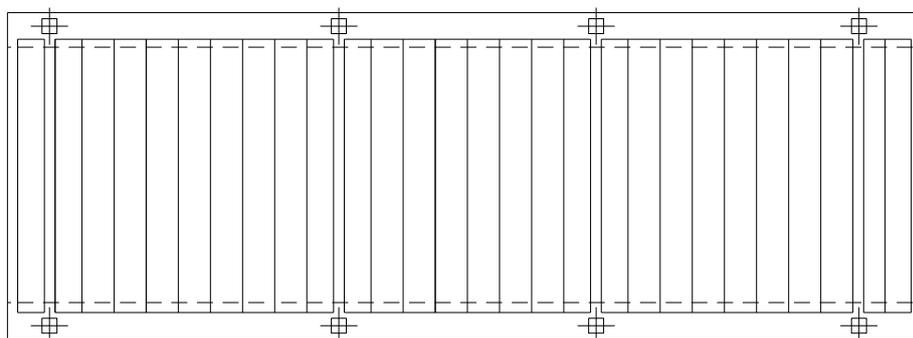


El problema del monolitismo en forjados mixtos o prefabricados requiere cuando menos un comentario. Hay que decir que es una tipología de uso relativamente reciente el entorno gallego, y del que apenas se han encontrado un par de ejemplos durante la inspección técnica. Sin embargo, se ha detectado un problema de diseño que podría haber sido grave de tratarse de edificaciones en altura, consistente en la falta de estabilidad horizontal de estas tipologías de forjado, cuando no se dispone una losa superior.

A la vista del esquema inferior, correspondiente a un forjado de losa alveolar recién ejecutado sin la losa superior, hubiera sido correcto disponer de los elementos necesarios (conectores o nervios in situ) para asegurar la indeformabilidad de la estructura en su plano, como se indica en la figura inferior:

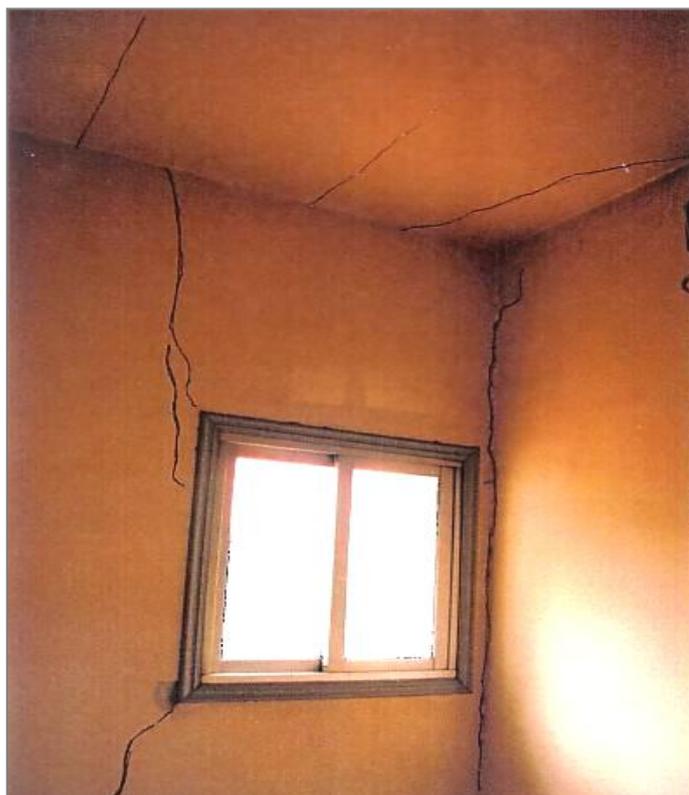
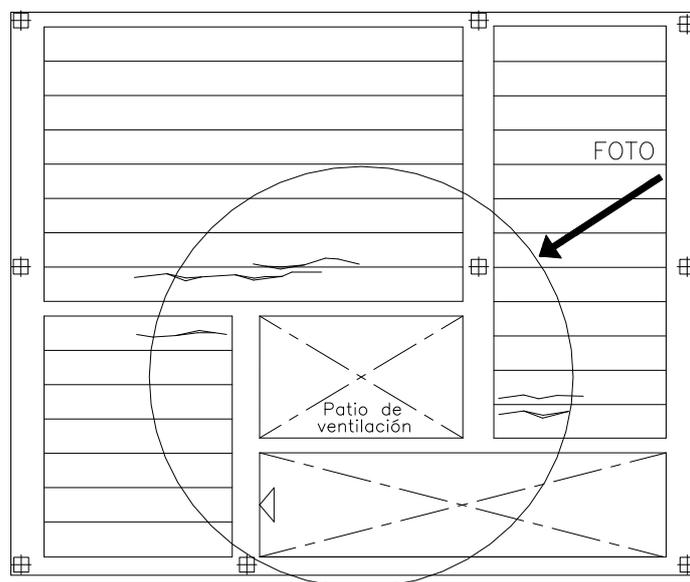


SOLUCION INCORRECTA



SOLUCION CORRECTA

Los enlaces consecutivos de zunchos y brochales generan un pésimo trazado de estos elementos y han provocado reiteradamente esquemas inaceptables del forjado. Del esquema inferior correspondiente a unas viviendas unifamiliares de tres alturas en Xinzo da Limia (Orense) se desprende un ejemplo, donde las deformaciones acumuladas por los brochales en el entorno del hueco del ascensor han afectado seriamente a la fábrica del cerramiento soportada y, consecuentemente, a la losa del techo:



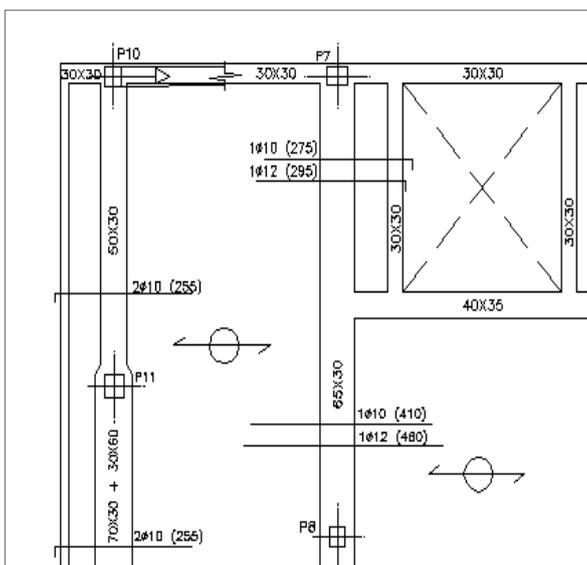
## PLANOS Y MEMORIAS CON DEFICIENCIAS

Si bien es cierto que durante el proceso de inspección técnica apenas se ha tenido acceso a este tipo de documentación, es intención comentar este aspecto en base a la propia experiencia profesional. Los factores siguientes pueden haber influido en algunos de los problemas encontrados, si bien es cierto que estadísticamente no se pueden cuantificar.

Hasta hace relativamente poco, resultaba frecuente encontrar proyectos de estructuras con carencias importantes en la definición gráfica de los elementos que la componen. Esto ha dado lugar a errores finales en la ejecución de la estructura, dejando las soluciones al libre criterio del contratista, derivando en deformaciones excesivas, fisuración de elementos, disminución de los coeficientes de seguridad, etc.

En el caso de los planos de forjados, hasta la aparición de los programas informáticos globales, era una costumbre muy extendida confiar en que los determinaría el fabricante que lo suministrase; como resultado, la tendencia más frecuente en obra era la de encargar las viguetas por metros de luz sin tener en cuenta las cargas especiales que soportaban, los cerramientos que recibían, tipos de vano, grados de empotramiento, etc.

Como anécdota, citar que en una ocasión, consultando las fichas de características de un forjado, el *calculista ad hoc* de la empresa, confesaba que, para dimensionar un voladizo largo, tomaba la ficha equivalente a un forjado del doble de la luz.



En las memorias también resulta característico el empleo de la coletilla "...a decidir en obra". Por supuesto, esta imprecisión daba pie a soluciones muy económicas por parte del contratista pero no siempre idóneas para el edificio.

Hasta mediados de los ochenta hay que recordar que los planos en rara ocasión se acompañaban de cuadros de características, detalles, pautas de ejecución, contraflechas, longitud de anclaje y solape, etc.

## AUSENCIA DE ESTUDIOS DEL TERRENO

Se ha dicho en numerosas ocasiones que el suelo no tiene vicio ninguno, por lo que la doctrina legal considera que los vicios del suelo son vicios del proyecto. Evidentemente, ahora existe la obligación previa de estudiar su naturaleza y anticipar su comportamiento. Pero hay que ser realistas: el estudio y el conocimiento del suelo tienen sus límites. No es la primera vez ni será la última que tras encargar diferentes informes geotécnicos sobre un mismo solar los resultados sean, incluso, contradictorios.

En la mayoría de la edificación estudiada, la ausencia de estudios previos del terreno era una constante; así, si se confiase en los hipotéticos datos aportados en los proyectos, podríamos concluir estadísticamente que el 99% del territorio gallego presenta una tensión admisible superior al 2 kg/cm<sup>2</sup>. Las conclusiones de la tesis de D. Valentín Lamas (15) nos confirman este extremo.

La escasez de daños encontrados de este tipo puede deberse a las características genéricas del suelo rocoso gallego, tanto granítico como de esquistos, así como la ausencia de arcillas expansivas. Además, las construcciones estudiadas corresponden en su inmensa mayoría a suelo urbano consolidado, por lo que casi siempre los terrenos colindantes y el comportamiento de las edificaciones existentes era la referencia de trabajo.

Los daños detectados en forjados han derivado de alguno de los siguientes problemas, si bien es cierto que la causa última no ha podido ser objetivable:

- Hundimientos de zapata y/o asientos diferenciales.
- Interacción con cimentaciones colindantes.
- Circulación y/o alteración de aguas subterráneas en terrenos permeables.
- Inestabilidad de sistemas de contención.
- Consideraciones erróneas sobre el nivel freático.
- Insuficiente capacidad portante del terreno o variabilidad del mismo.
- Deslizamiento de laderas.



Forjado con un desnivel acusado por un asiento diferencial (Melide-Coruña)

### 2.3.2.3.c- DAÑOS DEBIDOS A LA EJECUCION.

Abarca todo el abanico de lesiones cuyo origen tuvo lugar durante el proceso de construcción del forjado. En muchos casos, han sido resultado de los errores de proyecto y/o cálculo comentados anteriormente. Sin embargo, las que se enumeran a continuación probablemente hubieran tenido fácil solución con un control de obra eficaz o con la aplicación directa del conocimiento heredado del que se dispone actualmente.

Una clasificación estándar en el ámbito de la patología consiste en englobar las lesiones en función de la responsabilidad; ésta puede asignarse en una doble vertiente:

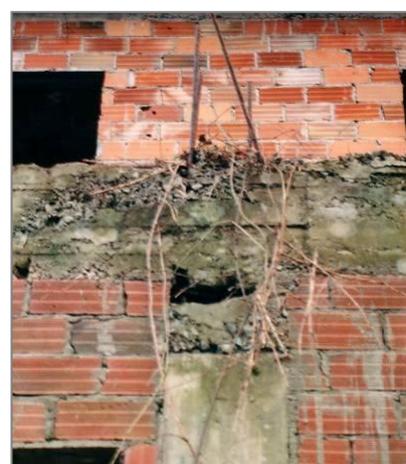
- Errores de dirección o del proyecto técnico.
- Errores de construcción o ejecución material.

Dentro del primer grupo se pueden citar tanto la ausencia de pruebas encaminadas a verificar la idoneidad de los cálculos como las soluciones constructivas, adaptando las carencias del proyecto a la realidad de la obra. Es un hecho contrastado que la intensidad de la asistencia y control de la obra no ha sido el punto fuerte de los técnicos durante el periodo estudiado. Así la falta de control de las dosificaciones, del control de los armados, idoneidad de viguetas y bovedillas, escasa aportación de detalles constructivos, etc., ha sido una constante.



Al segundo grupo, errores de construcción o ejecución material, corresponden aquellos cometidos durante el encofrado, los defectos durante el hormigonado, la pobre ejecución de los detalles constructivos, disposiciones incorrectas de ferralla, la presencia de mano de obra no cualificada, la aplicación de métodos de curado poco efectivos y otros.

La fotografía adjunta, tomada en el núcleo rural de Nadela (Lugo), resulta bastante significativa al respecto.



## ERRORES EN LA EJECUCIÓN DE LA CIMENTACIÓN

No cabe duda de que un pequeño grupo de errores contemplados en la estadística de lesiones de forjados se han originado en la cimentación. En una inspección técnica, a priori meramente visual, es difícil objetivar el origen real de una lesión de este tipo más allá de vincularla a una cierta sintomatología de fisuración de cerramientos u otros elementos.

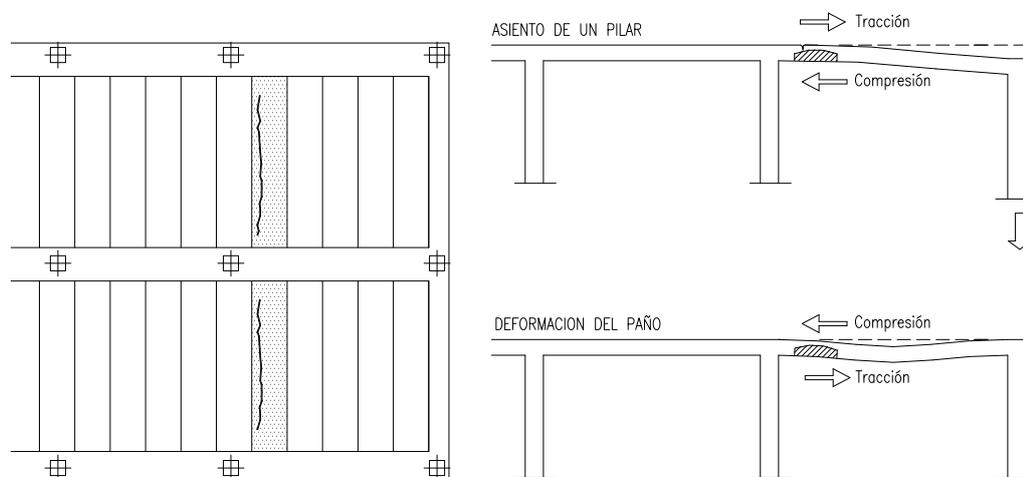
Lo referente tanto a los errores de cálculo como a la ausencia de estudios previos del terreno, ya se ha comentado en el capítulo correspondiente: insuficiente capacidad portante, hundimientos, asentamientos, deslizamientos, aguas subterráneas, inestabilidad de los sistemas de contención, etc.

En este apartado, y con el fin de no caer en la tentación de confundirlo con un manual de patología de cimentaciones, solamente se comentarán aquellos fallos que han afectado al forjado, los cuales sí se han confirmado claramente como fallos originados en la ejecución de la cimentación:

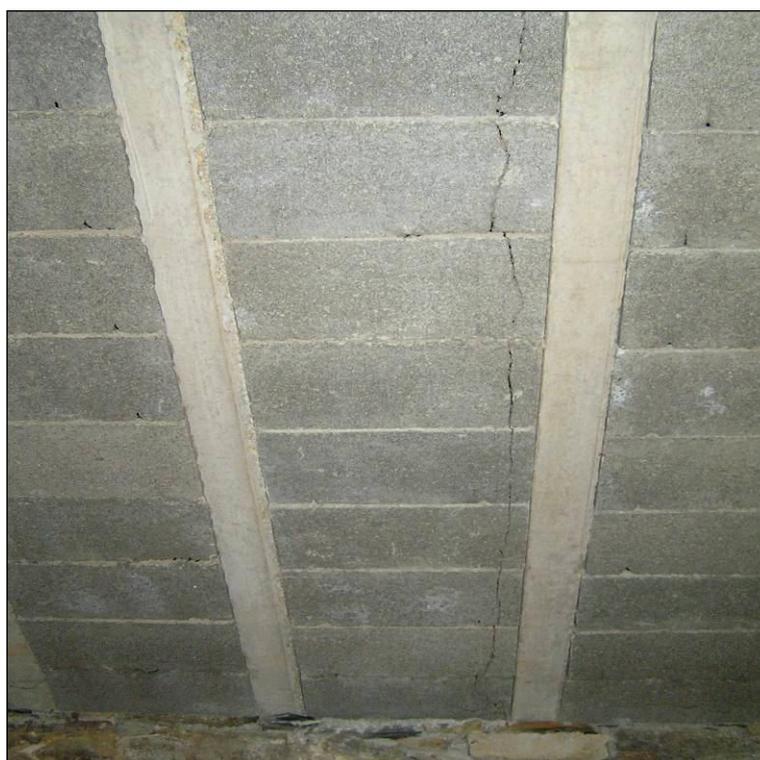


Rotura del forjado en torno al pilar por un asiento diferencial (Moaña-Pontevedra)

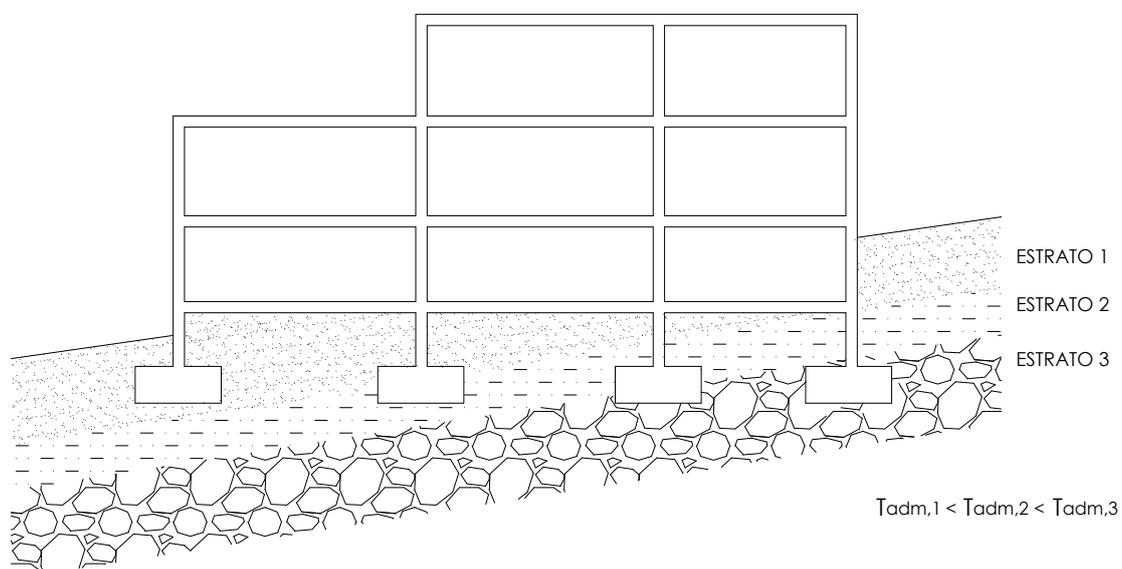
- Un grupo de lesiones engloba el caso de la rotura de hileras de bovedillas en forjados motivados por la compresión lateral de las mismas ante dos situaciones diferentes. Por un lado, un asiento local en la cimentación (genera compresión en cara inferior de forjado) y, por otro, una excesiva flexibilidad del paño (genera compresión en cara superior), como se desprende de la figura:



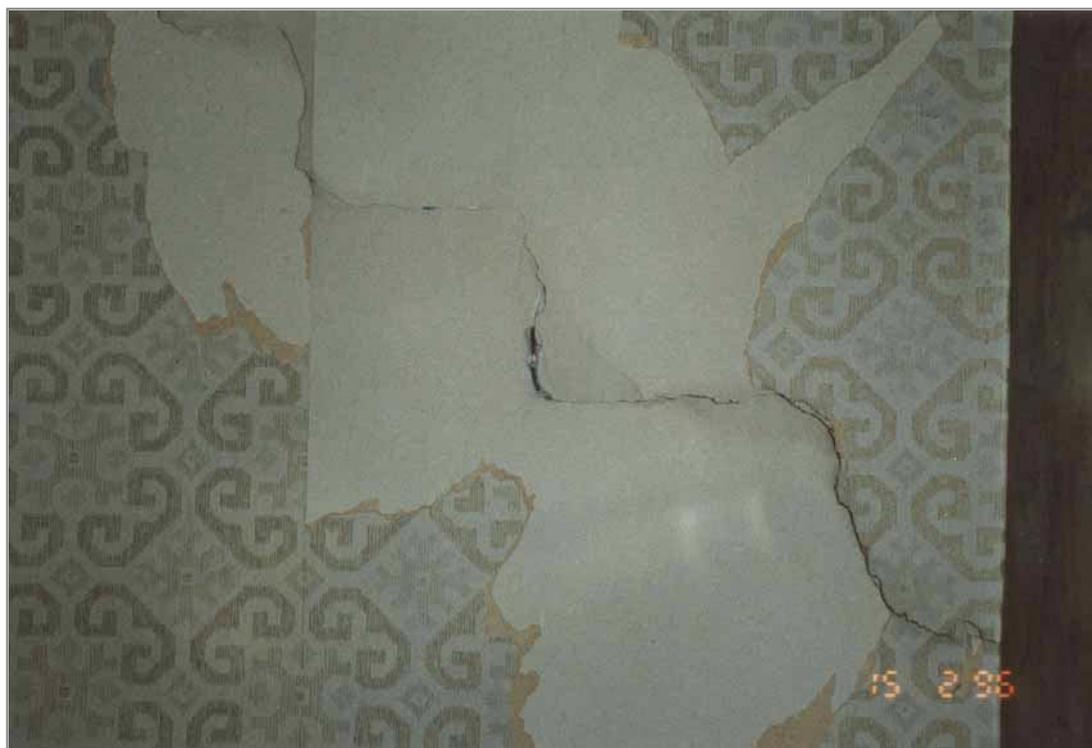
Para discernir el caso de la foto inferior en Verín (Orense), se verificó si se había producido un desnivel continuo desde el centro del paño hacia algún pilar (mediante niveles de agua) o si se trataba de un simple caso de flecha en el centro del vano; de esta forma se pudo concluir que se trataba del asiento de uno de los pilares.



- La ejecución de cimentaciones en ladera es una fuente de despropósitos ampliamente conocidos en nuestros días. Aún en el caso de estratos uniformes, las variaciones de humedad y compacidad a diferentes profundidades es una realidad que ha causado asentamientos diferenciales, afectando a los forjados y a los elementos constructivos soportados. En los casos en los cuales los estratos presentaban resistencias diferentes los daños fueron, evidentemente, más graves:



CIMENTACION EN LADERA CON ESTRATOS HETEROGENEOS



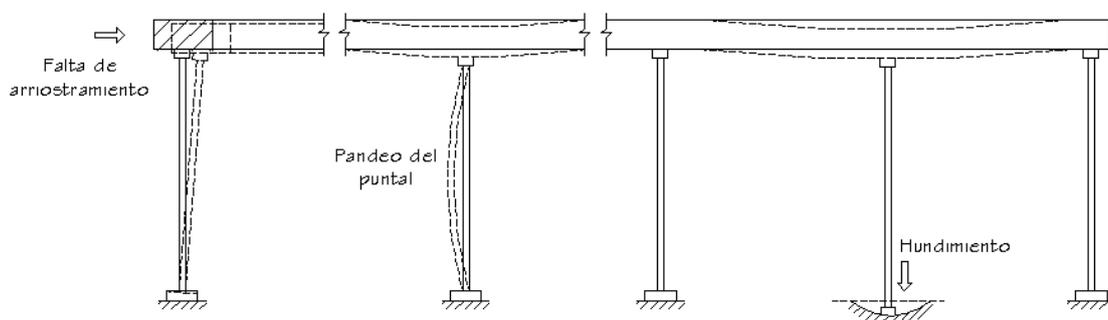
Daños en la tabiquería originado por el deslizamiento de ladera (Toques – Coruña)

## ERRORES DE ENCOFRADO

Si bien es cierto que durante una obra es relativamente frecuente detectar errores en la ejecución de los encofrados, también hay que decir que se suelen subsanar inmediatamente sin que quede huella posterior. De ahí que los daños detectados por esta causa en los edificios analizados han sido prácticamente irrelevantes.

Una reflexión necesaria, incluso a día de hoy, es constatar la ausencia de referencias sobre encofrados en la documentación del proyecto, dejándose en manos del constructor las decisiones sobre el tipo, número o separación entre sopandas. En cualquier caso, en la actualidad, el empleo de encofrados continuos ha mejorado la situación.

Básicamente, al margen de la baja calidad de las texturas y acabados en los elementos vistos de hormigón, solo se puede hablar de deformaciones locales en losas o vigas. Los motivos se pueden haber debido a los siguientes esquemas de comportamiento:



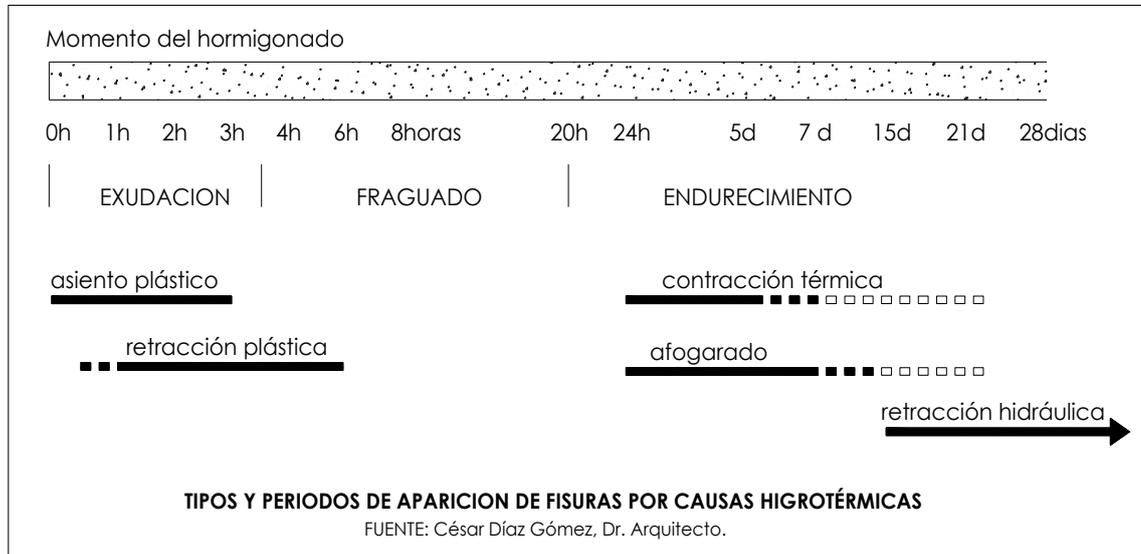
POSIBLES DAÑOS EN EL FORJADO POR FALLOS DE LOS PUNTALES.



Otro grupo de aparición de daños es el que se debe a una mala previsión del plan de cimbrado y descimbrado, especialmente relevante con losas macizas o reticulares. En estos casos, el forjado en proceso de endurecimiento, debido a la transmisión de cargas desde los forjados superiores a través de los puntales, puede llegar a rebasar la carga total para el que se estimó, siendo esta causa de una deformación remanente.

## ERRORES DURANTE EL HORMIGONADO

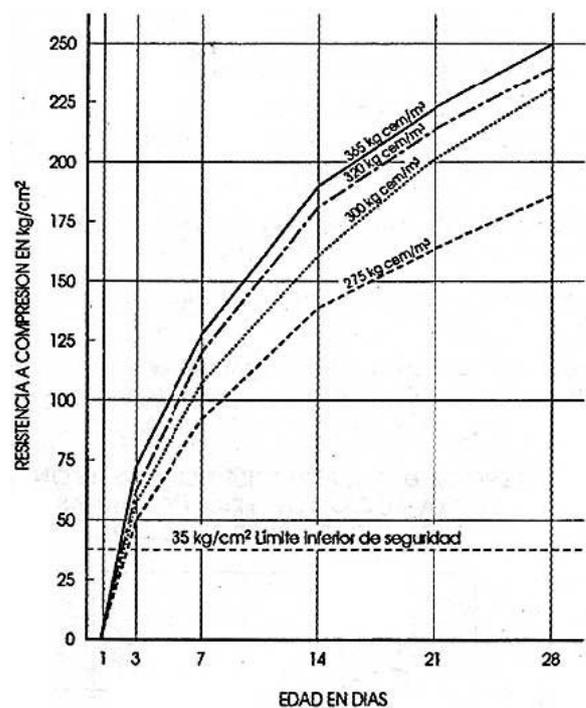
Diversos autores como Jiménez Montoya y García Messeguer (24) han estudiado con profusión el problema de la retracción en el hormigón. Sin embargo, el Dr. César Díaz Gómez (25) ha sido más explícito, adoptando el criterio de clasificación del CEB, que establece las lesiones debidas a los efectos higrotérmicos según el siguiente esquema:



En cualquier caso, es importante dejar claro que estas tipologías de fisuración se producen por la coacción interior generada por las armaduras frente al libre acortamiento del hormigón puesto en obra.

Las deformaciones en el interior del material dan lugar a tensiones internas en el hormigón que hacen que agote su resistencia a la tracción.

Para ayudar a comprender la relación entre los diferentes tipos de fisuración y las etapas de desarrollo (en días) de la resistencia del hormigón ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) según el contenido de cemento Pórtland en el mismo período, se adjunta el siguiente diagrama:



ETAPA PLÁSTICA: durante los momentos críticos de las 2 a las 6 horas posteriores al vertido del hormigón, antes de la etapa de endurecimiento, pueden aparecer las fisuras de *asentamiento plástico* y las de *retracción plástica*.

En ambos tipos interviene el fenómeno de la exudación la cual se refiere a la ascensión del agua hacia la superficie del forjado la cual tenderá a evaporarse, a la par que descienden por gravedad las partículas sólidas.

Cuando la evaporación supera a la exudación se origina el excesivo secado del hormigón. Se deduce así la importancia del curado, puesto que será el aporte complementario de agua lo que suplirá los efectos de la evaporación.

Normalmente son fisuras de escasa trascendencia estructural, aunque sí pueden incidir enormemente sobre la durabilidad de piezas al desproteger las armaduras de los efectos de la corrosión.

- Las fisuras de asentamiento plástico aparecen concentradas en las secciones gruesas. En los forjados aparecen linealmente encima de las armaduras de los nervios o coincidiendo con los cambios bruscos de sección (frecuentes en forjados reticulares).

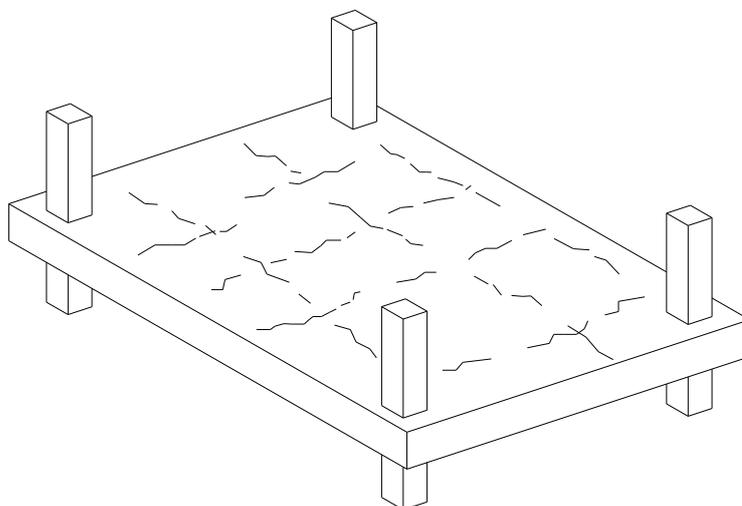
Recientemente se ha presentado un caso de hormigón deshidratado en la etapa plástica, y todos los datos apuntan a un hormigonado con el encofrado en seco, sin humedecer previamente.



Fisuración de la losa superior por asentamiento plástico en Porriño (Pontevedra)

- Las fisuras de retracción plástica resultan más frecuentes y uniformes en grandes superficies como soleras o losas macizas expuestas a altos índices de evaporación. Aparecen aproximadamente entre la primera y la octava hora, después del vertido del hormigón, pudiendo alcanzar el espesor de la sección.

No deben ser confundidas con las de retracción de secado o afogado, las cuales se forman en una fase posterior. Los principales tipos de fisuras aparecen al azar, generalmente formando una especie de malla amorfa.



Las fisuras pueden ser anárquicas o predominar con la dirección de la cuantía insuficiente.

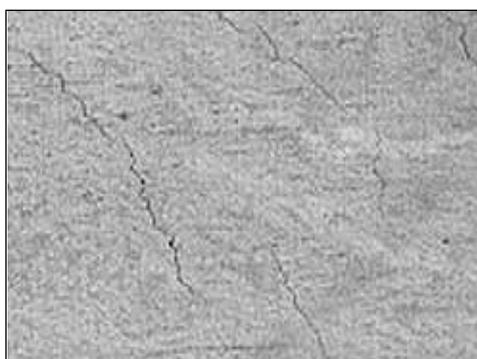


Fisuras por retracción plástica en una losa maciza en Verín (Orense)

**ETAPA DE ENDURECIMIENTO:** Una vez finalizada la fase de fraguado, el hormigón inicia el desarrollo de la fase de endurecimiento; la cual suele finalizar hacia los 28 días del vertido. A diferencia de la etapa plástica anterior (contracción térmica inicial), estas fisuras vienen generadas por los movimientos de dilatación y contracción térmica del hormigón.

Dentro de esta fase se pueden distinguir tres tipos de fisuras:

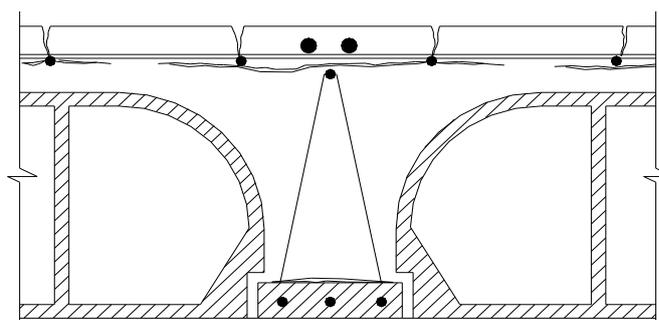
- Fisuras por contracción térmica inicial: son resultado del calor generado en el hormigón por las reacciones exotérmicas de hidratación del cemento y las tensiones inducidas en las zonas más frías en contacto con el ambiente. Generalmente aparecen entre el primer y el quinto día después del vertido, cuando el hormigón ya ha finalizado su fraguado.



- Fisuras de afogado: suelen ser muy finas y superficiales, apareciendo habitualmente entre uno y quince días después del hormigonado, dibujando una especie de malla amorfa. Se deben a la retracción causada por unas condiciones extremas de alta temperatura combinada con una alta sequedad atmosférica.

- Fisuras de retracción hidráulica: se deben a la reducción de volumen del hormigón causada por la pérdida de agua durante la fase final de secado. Pueden aparecer a partir de las dos o tres semanas desde el vertido del hormigón, aunque se puede retrasar su aparición durante varios meses.

Se ha encontrado una lesión de este tipo bastante grave en Outeiro de Rei (Lugo), con el resultado de la deslaminación de la losa superior:



## ERRORES DURANTE EL COMPACTADO

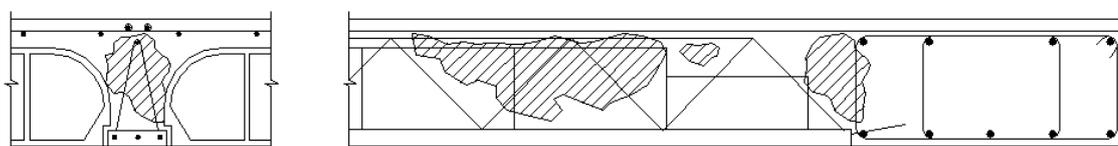
La fase de vibrado busca anular el rozamiento entre las distintas partículas y, por acción de la gravedad, conseguir su correcto asentamiento rellenando todos los huecos de la sección y adaptándose al contorno de las armaduras.

La compactación excesiva puede producir la segregación de los componentes o una exudación de la lechada con el consiguiente riesgo de generar una alta porosidad que influirá a largo plazo en la durabilidad del hormigón. Otro defecto posible, si se trabaja con hormigones de consistencia seca, es la pérdida de adherencia al vibrar las armaduras.

En Ares (Coruña) se ha detectado este problema en la cara inferior de una losa maciza, si bien en este caso la gravedad fue calificada como leve:



Pero la lesión más grave se ha detectado en una inspección en Fonsagrada (Lugo), en un forjado de semiviguetas, y fruto de un mal vibrado, fue la formación de coqueras múltiples incluso en la unión crítica frente a cortante del nervio del forjado con la viga, como en este esquema:



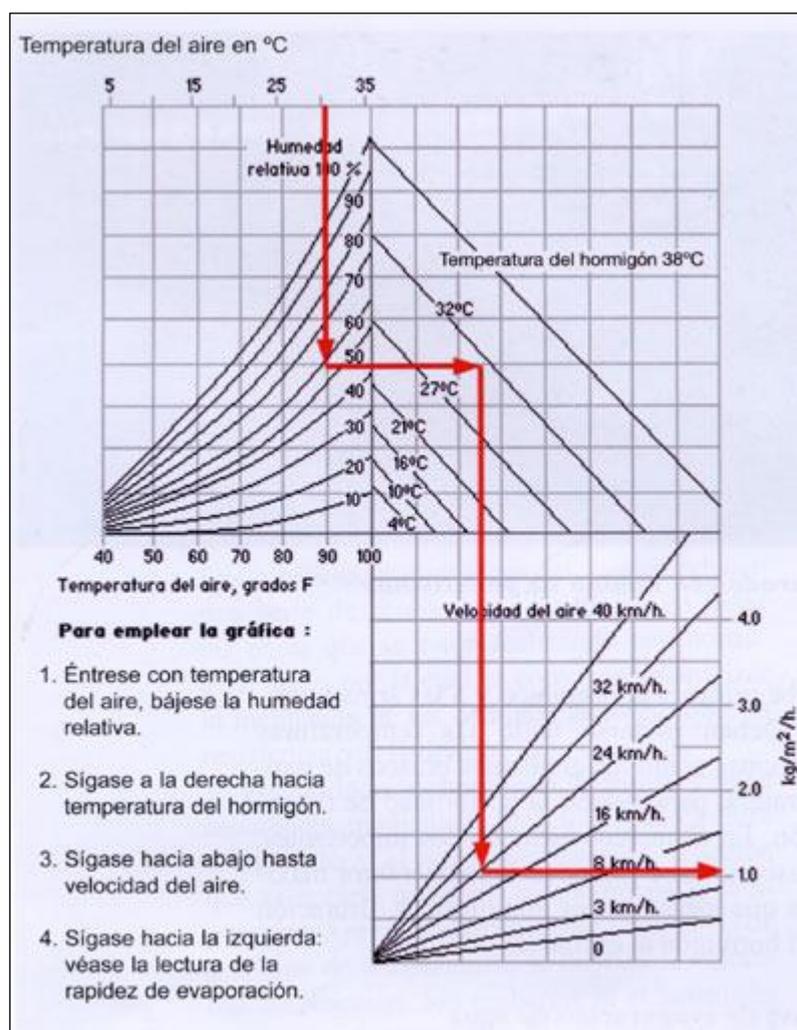
También en Lugo, en el área de Nadelá y Valadouro, se han encontrado dos ejemplos representativos de coqueras; en este caso situadas en la unión de un forjado de losa maciza con la viga y el pilar de descarga:



## ERRORES DURANTE EL CURADO

Durante sus primeras horas el hormigón vertido prácticamente no posee cualidades resistentes y es muy vulnerable, por lo que debe ser protegido contra la evaporación prematura (inducida por el viento, el sol, la baja humedad, la elevada temperatura, etc.) y otras acciones nocivas como pueden ser aceites y aguas en escurrimiento.

Para estimar la tasa de evaporación del hormigón se puede utilizar el siguiente gráfico desarrollado por el fabricante MBT (Revista del COATM, Instituto Torroja):



Ejemplo: si la temperatura ambiental es de 31°C, la humedad relativa del 57%, la temperatura del hormigón vertido 30°C y la velocidad del viento 24 km/h, se obtendrá que la tasa de evaporación es de 1.15 kg/m<sup>2</sup>/h.

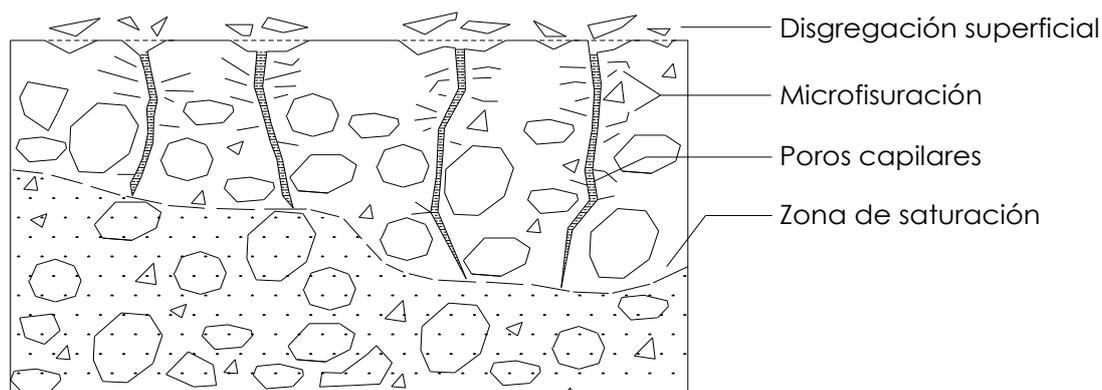
Así pues, la fase de curado se caracteriza básicamente por la adición de agua sobre la masa de hormigón para mantener un grado de humedad adecuado, hasta que éste alcance aproximadamente un 75% de su resistencia; esto se consigue por término medio manteniendo el proceso de curado durante unos siete días en condiciones higrotérmicas normales.

Si la tasa de evaporación supera el valor de 1 kg/mh., sería necesario tomar medidas adicionales, como la protección contra el viento, la radiación y la alta temperatura. Cabe decir que, en el territorio gallego, dentro del período estudiado, no era común aplicar sistemas de curado por vapor y/o inmersión, por lo que no se profundizará en las problemáticas específicas de estos sistemas.

La aportación de mayor o menor cantidad de agua de la necesaria influye en una posible disminución de la resistencia mecánica, en un aumento de la retracción hidráulica y en una disminución de la durabilidad.

Otro problema inherente a un mal curado, con un rápido secado, consiste en el curvado (hacia arriba o hacia abajo) de las losas esbeltas de un forjado de hormigón, por variaciones dimensionales asociadas al gradiente de temperatura. El caso más perjudicial, analizado profusamente por Ytterbeg (26) es aquel que produce una distorsión de los bordes y las esquinas de la losa dejándolos sin apoyo o falsos apoyos. Además, este problema puede generar daños, no solo frente a la aparición de fisuras aleatorias, sino por la formación de flechas instantáneas elevadas en los elementos del forjado.

Otro problema conocido (recogido en ACI 306 R-88) que puede surgir en esta fase es la acción del hielo en el hormigón del forjado. Ante el embalsamiento del agua en los microporos y su aumento de volumen, ésta puede introducir unos esfuerzos de acuñamiento (Splitting) en torno al 9%. Es difícil que los hormigones se vean afectados de forma visible por el efecto de una sola helada, puesto que para dilatar los poros no capilares son necesarios varios ciclos de congelación y descongelación.



Fuente: GEHO-CEB, 1993

## DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS INCORRECTAS

Se explican en este apartado los daños más comunes que se detectaron en fases posteriores de intervención, derivados de sistemas constructivos incorrectos. En unos casos fueron debidos a una inadecuada definición desde el proyecto; en otros, por la falta de control durante la ejecución.

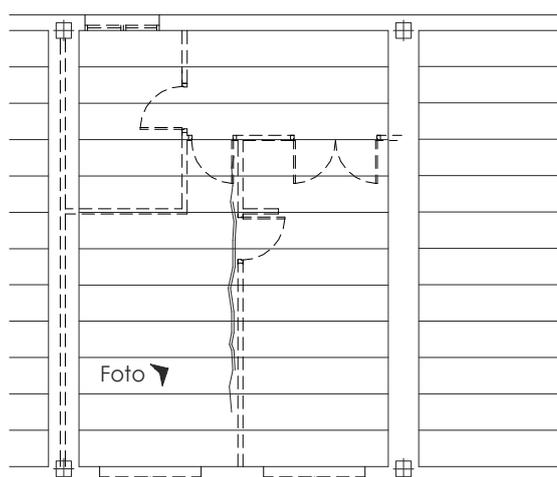
Existen errores sintomáticos que son comunes a las diversas tipologías de forjados, como en el caso de los relativos a armados:

- Longitudes de empalme y de anclaje incorrectas.
- Disposiciones inviables de ferralla (muy abundantes en la actualidad por el uso incorrecto de los programas informáticos).
- Recubrimientos escasos o inexistentes.
- Radios de curvado de armaduras de diámetro grueso que generan recubrimientos de hormigón inaceptables.
- Diseño de armados en faldones en ángulo dando lugar a empujes al vacío: quiebras de cubierta y losas de escaleras.
- Agrupación de barras sin la consideración del diámetro equivalente.
- Ausencia de armaduras de suspensión ante cargas colgadas y apeos.
- Ausencia o reparto incorrecto del armado transversal de nervios.
- Ausencia de continuidad en las juntas de dilatación.
- Ejecución constructiva inadecuada frente al flector en voladizos.



- Lesiones por flexión: la deformación excesiva es, con mucha diferencia, la lesión más común en los forjados inspeccionados. La elección incorrecta del canto ha llevado directamente a una deformabilidad excesiva del elemento, con la consiguiente aparición de fisuras de los elementos constructivos vinculados. Más grave en el caso de los voladizos, por ser mucho más sensibles.

Además, ya se ha comentado en capítulos anteriores el problema de la transmisión de cargas desde los pisos superiores a los inferiores (arcos de descarga). Al margen, hay que mencionar que debido a las diferencias de rigidez dentro del paño, las viguetas más próximas a los pilares se deforman menos que las situadas en la zona media del mismo. Por todo ello, las fisuras en tabiquerías, falsos techos o solados, han sido una constante:



- Lesiones por punzonamiento: aunque es un fenómeno muy grave y recogido abundantemente en la bibliografía de daños sobre losas macizas y forjados reticulares, ha resultado inexistente durante nuestra inspección técnica.

- Lesiones por esfuerzos de tracción: tampoco se ha detectado ningún caso relevante en forjados, salvo los ejemplos ya comentados fruto de las retracciones.

- Lesiones por esfuerzo cortante: se han detectado algunas fisuraciones desde leves a graves por este problema en vigas de cierta edad, que se han asociado a la corrosión de los cercos expuestos (sin recubrimiento) unido a hormigones de muy baja calidad.

Recientemente se ha encontrado este curioso caso de la fotografía en A Rúa (Orense), donde, durante la ejecución, la tubería de saneamiento se había dispuesto en la zona de entrega de los nervios a la viga, sección de máximo cortante del paño, con el consiguiente riesgo tanto de agotamiento resistente del nervio como de rotura de la propia canalización y, posteriormente, la lenta pero implacable corrosión de armaduras.

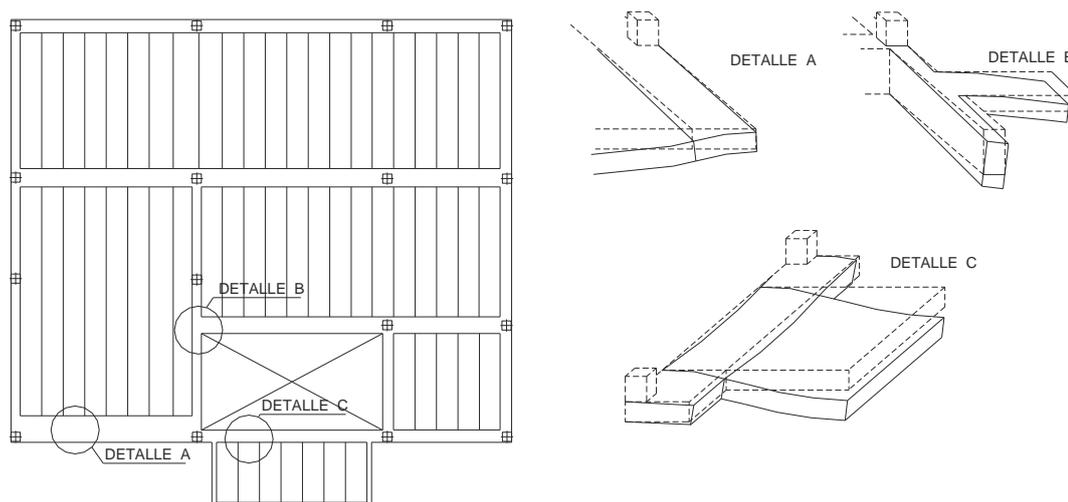


En un caso muy singular, en el casco histórico de Coruña, se ha verificado la rotura total de la viga ante la ausencia, incomprensible, de los cercos; afortunadamente el elemento descargó en los tabiques inferiores.

Es relativamente frecuente encontrar, a día de hoy, planos de armado de forjados de nervios in situ sin ninguna indicación sobre la armadura de cortante. Cabe decir que, curiosamente, las edificaciones descubiertas con este error de proyecto no presentaban síntoma alguno de agotamiento.

- Lesiones por esfuerzos de torsión: se han encontrado trazados de forjado que, dando lugar a situaciones de torsión (principal o secundaria), se han considerado el origen o el agravante tanto de la deformación excesiva de un paño como la fisuración de los elementos constructivos vinculados, especialmente los cerramientos.

Tal ha sido el caso de vigas planas muy anchas con apoyo excéntrico (A), vigas acometidas por un brochal sin continuidad (B) o el caso de voladizo sin continuidad (C). Para ejemplo, se muestra el desgraciado ejemplo:

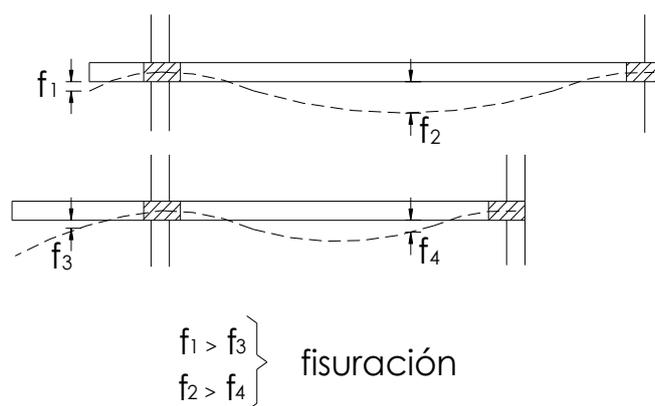
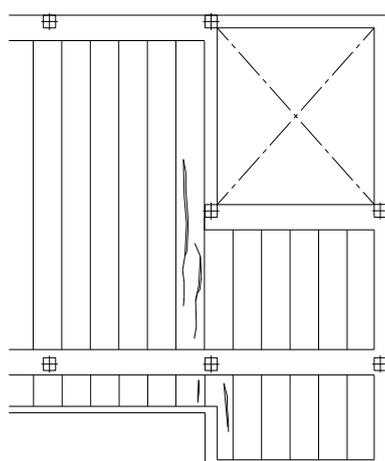


Urbanización de viviendas de protección oficial en Verín (Orense)

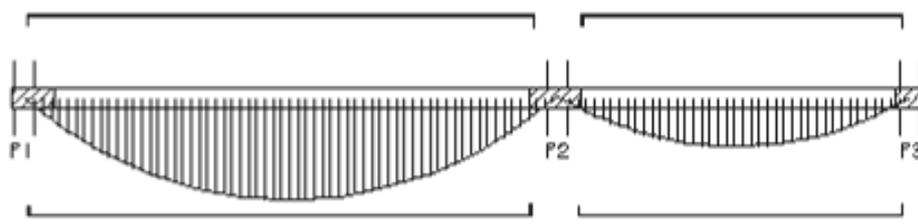
- Vanos adyacentes de luces diferentes: A pesar de que este error se debería haber evitado desde el diseño, el hecho de no haberse corregido durante el proceso de ejecución ha conducido a una incompatibilidad de las flechas de las viguetas contiguas, tanto en vano como en el voladizo, en especial cuando se superan valores del orden del 20% en la diferencia de sus luces.



Se han generado así fisuras longitudinales y paralelas a las viguetas, tanto en el revestimiento de la cara inferior como en el solado superior:

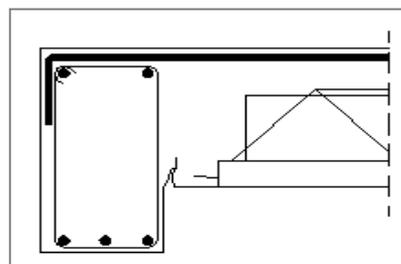


- Armado incorrecto de zunchos y brochales: una variante errónea en la ejecución de estos elementos, partía de la falsa interpretación de estas piezas como elementos de segundo orden, y esto conducía a la ausencia de armado en los apoyos en continuidad, lo que obligaba a trabajar al zuncho isostáticamente y, de ahí, la fisuración en apoyos así como la posible explicación de flechas superiores a las previstas.



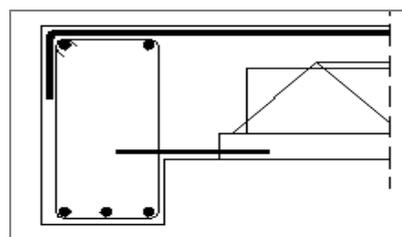
Garaje en Mos (Pontevedra).

- Omisión de barras de continuidad en viguetas:  
Dado que, en ocasiones, las viguetas recepcionadas en obra son de una longitud un poco más corta de lo necesario, se genera un problema como el que se muestra (ver fotografía inferior derecha) en esta figura y se refiere a la longitud de anclaje insuficiente de las armaduras de positivos.



Esto puede adquirir cierta gravedad si se repite en varias viguetas adyacentes.

Cuando se ha cortado la armadura inferior de la viga durante el proceso de corte con sierra, hubiera sido necesario disponer una armadura suplementaria como la indicada a la derecha:



Si son excesivamente cortas y, además de la armadura anterior, no se dispone una armadura de cortante en secciones muy solicitadas, se podrían encontrar fallos importantes:

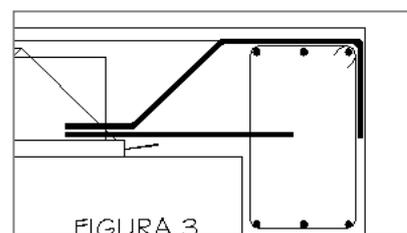
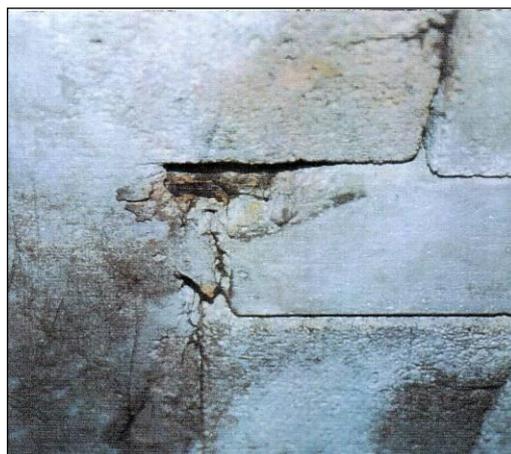


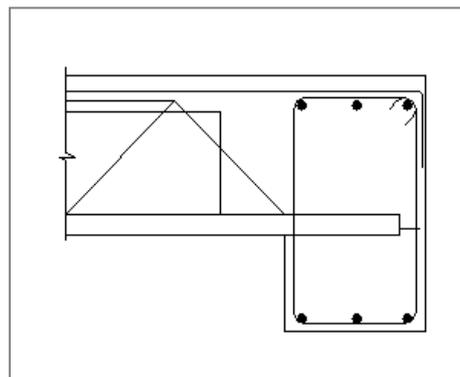
FIGURA 3



Mondoñedo (Lugo)

- Viguetas demasiado largas: resulta erróneo no cortar el exceso de la vigueta y limitarse a introducirla así en la viga, especialmente en el caso de vigas planas.

Esta situación, de repetirse en varios nervios consecutivos, produce la falta de continuidad en el hormigonado de la viga con la posibilidad de inducir diversas lesiones.



Las viguetas recepcionadas en obra más largas de lo necesario se deben cortar con sierra de disco, pues la práctica extendida de proceder a su desmochado a golpes provoca fisuras longitudinales en la suela de la semivigueta que, a la vista de la foto y como mínimo, pueden ser el origen de problemas de corrosión de las armaduras.

El proceso de desmochado a golpes también puede producir una pérdida en el armado de pretensado, con el consiguiente deslizamiento de la armadura dentro del hormigón.



A Mezquita (Orense)

- Escasez u omisión del mallazo superior: hasta la llegada de la EH-73, durante los años cincuenta y sesenta era relativamente habitual en el territorio gallega no disponer la armadura de reparto de la losa superior. Se desconocía entonces que cumpliría un papel esencial en la distribución transversal de las cargas locales, en el enlace entre forjado y el resto de la estructura, ante acciones horizontales y evitando la fisuración por retracción.

La lesión más habitual que se ha detectado producida por la carencia o insuficiencia de esta armadura es la fisuración generalizada de la cara superior debido a la retracción.



Reparación del forjado de un edificio de Coruña (1946), sin armadura de reparto

- Longitudes incorrectas de anclaje o empalme de armaduras: En el caso de la omisión de patillas en forjados, ha conducido a una readaptación frente a los esfuerzos previstos inicialmente, incrementándose los momentos positivos en el vano y los negativos en el apoyo opuesto. En el caso de que el problema ocurra en la armadura inferior de positivos, sucede lo contrario.

Si bien es cierto que no se ha podido objetivar ninguna lesión específica durante el proceso de inspección técnica, sí ha podido ser una de las causas del incremento de una deformación excesiva en algún paño del forjado, con la aparición de fisuras en los elementos constructivos vinculados.

- Apoyos erróneos del forjado sobre fábricas: El apoyo de los forjados en muros de fábrica es una tradición en la comunidad gallega y ha resultado trivializado con frecuencia cuando en realidad presentan una problemática específica.

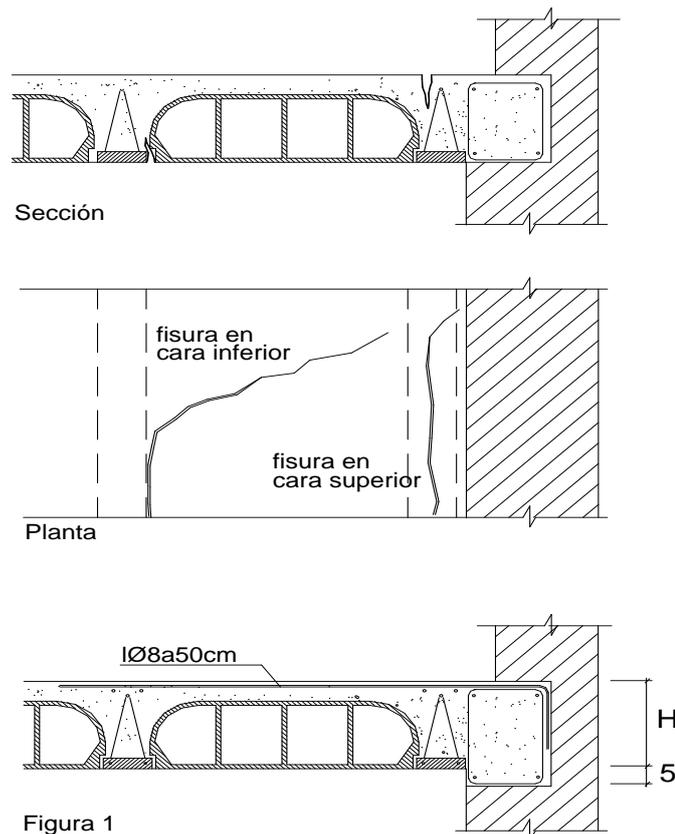
Por efecto de la flexión del forjado, tanto ortogonal como transversal, los forjados generan importantes excentricidades en la transmisión de sus cargas al muro, pudiendo ocasionar daños sobre éste.

Además, la incorrecta evaluación del grado de empotramiento del apoyo del forjado ante la presencia de tramo superior del muro puede conducir a lesiones por flechas diferenciales de las viguetas adyacentes al mismo, como se desprende de la figura inferior.



Fisuración en un forjado  
Ferrol (Coruña)

Una solución que la práctica ha ratificado como eficaz consiste en diseñar el encadenado de apoyo con un pequeño descuelgo de 5cm. y, al mismo tiempo, disponiendo una armadura ortogonal a los nervios para absorber la posible flexión transversal tal como se indica en la figura 1.



- Apertura incontrolada de huecos para el paso de instalaciones: el error de no replantear en los planos la ubicación exacta de pequeños huecos para el paso de conductos de instalaciones ha conllevado en numerosas ocasiones a que se haya ejecutado el forjado y, posteriormente, realizado el taladro o hueco para el paso de estos elementos.

Si el taladro es pequeño, caso de una bajante, y coincide con una bovedilla no hay problema, pero son numerosas las ocasiones que se ha seccionado algún nervio (incluso vigas) con su armadura incluida, generando deformaciones locales que la losa superior de hormigón no ha sido capaz de soportar.

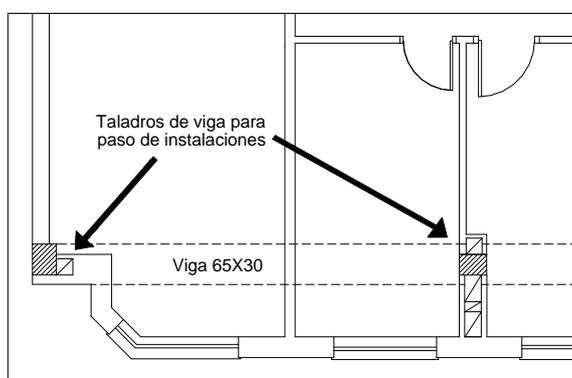


Toques (Coruña)

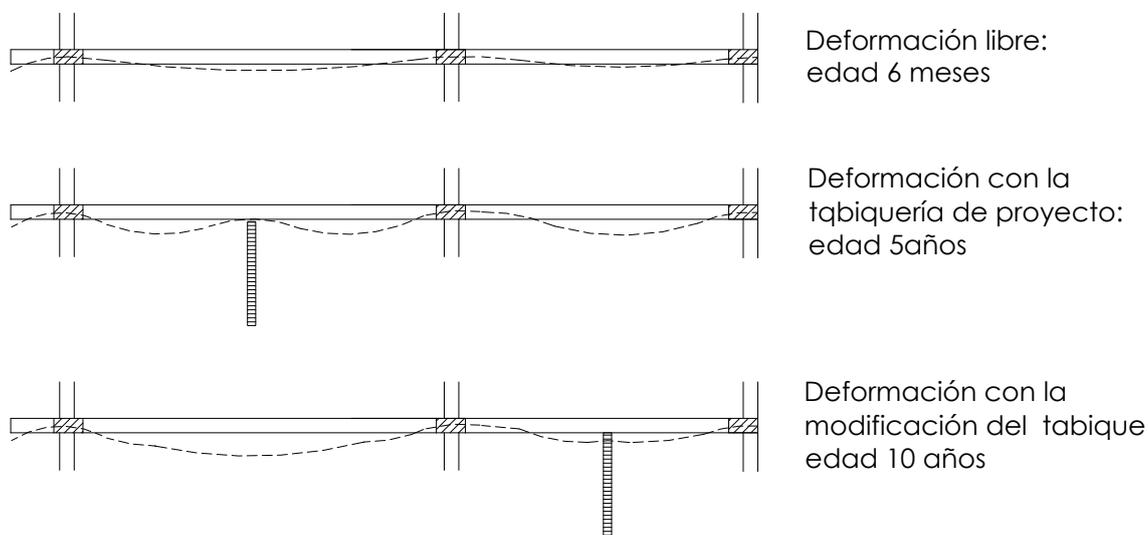


Barreiros (Lugo)

En algunos casos, y por necesidades del proyecto, se han ubicado las bajantes adosadas a los pilares, de tal manera que al realizar el taladro se ha perforado las vigas planas que descargaban en aquellos, precisamente en el punto más solicitado y armado. Sirvan de adelanto estos ejemplos:



- Modificaciones incontroladas de las tabiquerías: una vez construido el edificio y por efecto de la flecha diferida, sobre todo en los primeros años, el forjado se ha ido deformando paulatinamente. Las tabiquerías inferiores entran en carga en mayor o menor medida, lo que supone una redistribución de esfuerzos y deformaciones en los paños del forjado.



En aquellos casos en los cuales se procedió a la demolición de dichos tabiques que suponían un apoyo del forjado, se produjo una deformación instantánea de los mismos por flexión, generando problemas en los elementos constructivos soportados.

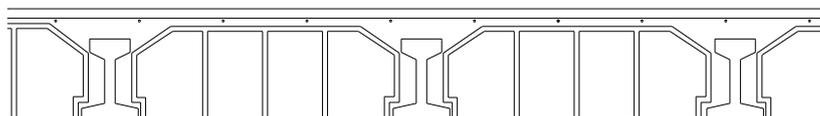
De la misma forma, si se ejecutan nuevas tabiquerías por parte de algún propietario, y sin tomar las debidas precauciones, se podrían inducir nuevos apoyos y, con ello, deformaciones diferenciales localizadas que generaron fisuras en los pavimentos por la aparición de nuevos momentos negativos y/o rotura de bovedillas por aplastamiento en la cara inferior del forjado.



Local comercial (Orense)

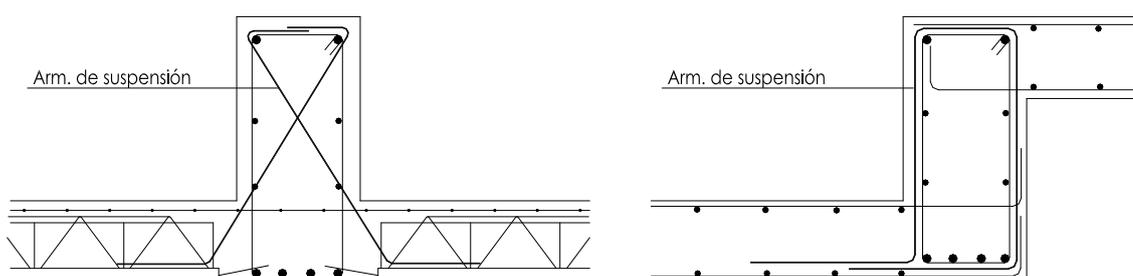
Principalmente, la mayoría de estas lesiones se han encontrado en algunos forjados de techo de la planta baja, ante los sucesivos cambios de distribución de los locales comerciales de uso comercial.

- Inadecuación entre tipo de bovedilla y vigueta: si bien es cierto que este problema no se ha detectado en la propia etapa de inspección sí se ha encontrado, con no poca sorpresa, en dos casos en los que se ha tenido que intervenir con posterioridad a causa del problema generado. El empleo de bovedillas no acordes al formato de la vigueta han impedido el correcto hormigonado envolvente del nervio, imposibilitando la resistencia frente al esfuerzo rasante. Sirva de ejemplo este caso reciente:

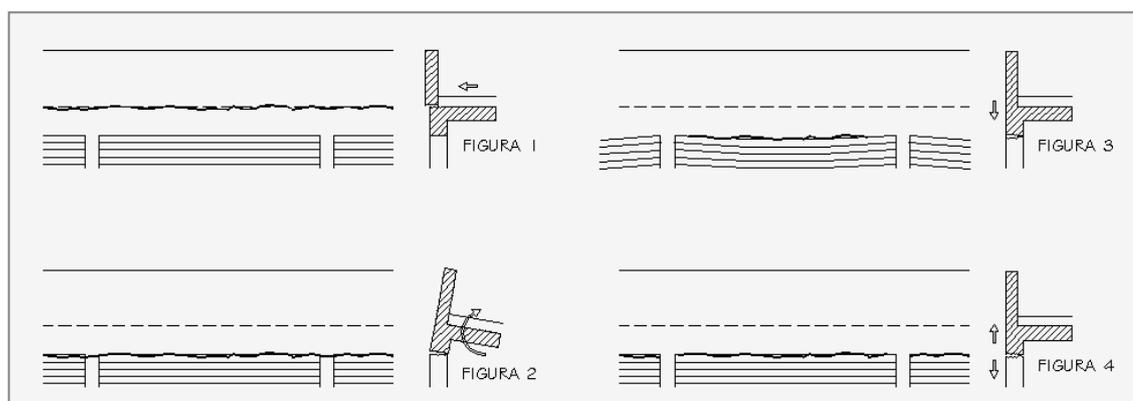


Ejemplo de bovedilla inadecuada a la vigueta en Coruña

- Ausencia de armadura de suspensión: Es un error que alcanza, incluso, a nuestros días. Suspender las cargas de la cara inferior de una viga genera unos esfuerzos importantes de tracción, cortante e incluso torsores en vanos aislados, que obligan a disponer armaduras complementarias. Los efectos producidos por este error podrían producir el agotamiento de la pieza.



- Inestabilidad de petos: Un lesión reiterada es la que se ha encontrado en los petos de cubierta y terrazas por una mala ejecución y diseño de esta pieza, que han producido riesgos de vuelco sobre la vía pública, fisuraciones y grietas horizontales. Además, la penetración de agua a través de estas fisuras ha generado lesiones por humedad y la consiguiente corrosión de las armaduras.



En la figura 1, la fisura se produce por encima del forjado, por empuje horizontal del solado por dilatación térmica. Se debe a la falta de una junta elástica eficaz o a la incorrecta unión de ambos elementos.

En la figura 2, la fisura se produce por debajo del forjado, debido a la torsión local de la viga situada sobre el cerramiento. Es frecuente en forjados de luces grandes.

En la figura 3, la fisura se produce por debajo del forjado pero por flexibilidad excesiva del dintel.

En la figura 4, la fisura se produce por debajo del forjado, debido a la retracción del mortero de la fábrica.



Caso 1 (Allariz – Orense)



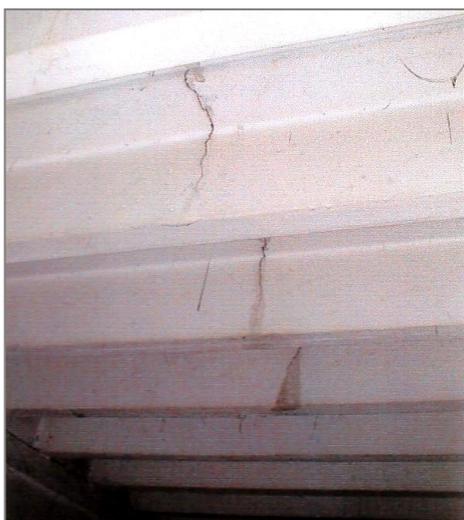
Caso 2 (Coruña)

### 2.3.2.3.d- DAÑOS DEBIDOS A LOS MATERIALES.

Es un hecho que en la actividad arquitectónica se conocen y se tienen en cuenta los puntos débiles de los materiales más empleados. No obstante, todo proyectista ha tenido que utilizar en alguna ocasión materiales con ciertas limitaciones conocidas de antemano, por una exigencia determinada o porque no existía en ese momento otra alternativa económicamente aceptable.

Actualmente se hace patente que en Galicia se han utilizado en los años sesenta a ochenta materiales con técnicas constructivas innovadoras y con el desconocimiento de sus limitaciones, dado el volumen y la demanda constructiva del momento; había que producir un número de edificios elevado, con materiales relativamente desconocidos en nuestro entorno.

En las inspecciones realizadas en este caso, entre los materiales que más daños han causado al edificio, no cabe duda que han sido los revestimientos de cubierta y de fachada. El empleo de las placas de fibrocemento ha causado auténticos estragos tanto en temas de impermeabilización como en los de aislamiento; con las pinturas de clorocaucho y las losetas cerámicas, empleadas durante finales de los setenta y principios de los ochenta ha ocurrido algo muy similar.



En el caso de los forjados de hormigón armado, su aplicación no solo ha estado condicionada a la composición del cemento y su producción industrial, (problemática ya estudiada) sino también a la prefabricación en forma de bovedillas, viguetas, paneles, losas alveolares, forjados pi, prelosas, etc.

Sin embargo, las últimas décadas ha puesto de relieve uno de los puntos débiles del hormigón: la durabilidad. Durante años, se vio devaluada por la alta porosidad, fruto de una dosificación incorrecta de cemento, el empleo de áridos poco apropiados, recubrimientos escasos, una inadecuada relación agua-cemento, la adicción de aditivos con efectos perniciosos o, simplemente, se han aplicado sistemas de ejecución deficientes.

Son numerosos los documentos de referencia que versan sobre el tema de la durabilidad: las instrucciones EHE-98 y EHE-08, el CEB-FIP Model Code 90, el CEB Design Guide, el ACI COMITÉ 201, el proyecto de norma europea ENV-206, la norma CETESB L1 007 y otros. Estos temas ya han sido abordados en el capítulo de daños por ataques químicos, por lo que no se incidirá nuevamente en ellos: la despasivación de armaduras, lixiviación, carbonatación, ataques químicos, expansión por helacidad, etc.

En el caso del acero los problemas anteriores han dado lugar, en última instancia, al protagonismo de la corrosión de las armaduras; ésta, evidentemente, ha sido una constante en muchos edificios inspeccionados.



Casos graves de corrosión de armaduras de forjados en Orense y Lugo

Al tratarse de un material de producción industrial, prácticamente ha resultado inexistente el control en obra, a pesar de que el acero experimenta variaciones de unas coladas a otras durante su proceso de elaboración. A partir de las recomendaciones ISO-R82 y las Normas UNE 7-010, las características que se comenzaron a controlar en el acero en el periodo estudiado serían el límite elástico, la resistencia, el alargamiento a rotura y la comprobación de la plasticidad en base al ensayo de doblado-desdoblado.

Con todo se debe concluir que no se ha encontrado ninguna lesión que pudiera vincularse directamente a una mala calidad del acero empleado durante estos años; ni síntomas de envejecimiento, ni cansancio, ni fragilidad ni resistencia.

### 2.3.2.3.e- DAÑOS DEBIDOS AL USO Y MANTENIMIENTO.



Es la patología que se puede generar debido al uso indebido de la construcción o a su falta de mantenimiento durante su vida útil.

En la mayor parte de los casos, la mayor parte de los problemas tenían su origen en los errores derivados del proyecto y/o de la ejecución.

Dicho de otro modo, las lesiones que no se arreglaron en su momento, generalmente tienden a agravarse con el paso del tiempo.

Entre las lesiones derivadas del uso indebido se han encontrado:

- Demolición o ejecución incontrolada de tabiquerías.
- Aumento de cargas incontroladas: librerías, acuarios, acumuladores, grandes maceteros, bañeras de hidromasaje, pavimentos pesados, almacenaje, instalación de depósitos o maquinaria, etc.
- Ejecución de cubiertas ajardinadas.

Entre las lesiones derivadas de la falta de mantenimiento se han encontrado:

- Oxidación de elementos metálicos.
- Filtraciones continuadas.
- Dejadez en las reparaciones: aparición de fisuras, eflorescencias, desconchados del hormigón, disgregación superficial.
- Envejecimiento de los materiales de protección: pinturas, resinas, revocos, aplacados e impermeabilizantes.
- Falta de limpieza, incluyendo el crecimiento incontrolado de organismos vegetales.



De aquí se desprende la necesidad ineludible de un control periódico de la estructura a lo largo de la vida útil del edificio.

## 2.4- EVOLUCION DE LA NORMATIVA SOBRE FORJADOS.

Dado el elevado porcentaje de lesiones que hemos encontrado, tras la inspección de casi de 750 edificios, relativas tanto a la excesiva deformación de forjados como a la corrosión de armaduras, consideramos interesante realizar un análisis comparativo que refleje las modificaciones introducidas en las sucesivas instrucciones españolas de forjados en estos dos ámbitos.

Planteado desde otro enfoque: ¿La evolución de la normativa, realmente ha hecho disminuir los casos de patología en la edificación de viviendas? ¿En qué medida ?.

Recordemos aquí, desde una perspectiva muy general, algunas relaciones entre la época histórica y el diseño del forjado:

DECADAS DEL 50 al 70 (EH-44, EH-68 y EH-73): En el sentido positivo se caracterizaron por su racionalidad (sencillez, lógica, luces moderadas y apoyos sobre vigas de generosos cantos). Del lado negativo, hay que recordar, entre otras, la problemática derivada del empleo de armaduras lisas (fallos por anclaje), hormigones de muy baja calidad (escasa durabilidad), recubrimientos mínimos o inexistentes (corrosión de armaduras) y, por supuesto, forjados de muy poco espesor (deformaciones).



Edificio de viviendas en Coruña (1958): nótese tanto la relación entre el canto de las vigas y las luces empleadas como el pésimo estado de deterioro del material.

DECADA DEL 80: Si bien la EH-73 es la primera instrucción española con criterios actuales, no cabe duda de que, en esta época, entran en vigor las instrucciones EH-80 (su corrección la EH-82) y, sobre todo, la EH-88 con cambios fundamentales, de lo cual se desprende un cambio de rumbo importante en las estructuras de hormigón.

También hay que considerar que el empleo del ordenador no surge hasta finales de los ochenta, por lo que hasta entonces, el cálculo de forjados era manual y, por lo tanto, a los posibles errores de diseño, malos materiales y defectos constructivos, hay que añadirle los problemas derivados del cálculo.

Pero si hay un factor radical y relevante en la patología de esta etapa y en el diseño de las estructuras de edificación, no es otro que la irrupción de la viga plana asociada al bajo canto de los forjados ordinarios. Dicho de otra manera, las tradicionales estructuras rígidas pasan a ser flexibles y deformables:



Deformación de la losa maciza en un centro comercial de Coruña (1982)

DECADA DEL 90 (EH-91 y EHE-98): A partir de este momento se puede generalizar que la mayor parte de las estructuras se calcularon con programas de ordenador; y ya hemos hablado anteriormente de la importancia que, desde entonces, ha ido adquiriendo el P.E.S.O. (Patología Engendrada por Suicidas al Ordenador).

Así, nos encontramos con que las decisiones del diseño (correcto o incorrecto) se traducen en un modelo directo que el ordenador calcula y dibuja, pero que sólo la intervención directa del técnico puede garantizar que la estructura resultante esté bien.

Estamos hablando de la realidad actual, donde los materiales son de buena calidad y sometidos a control, donde existen normativas rigurosas, etc; pero también hablamos de una época de estructuras muy flexibles, luces importantes, ciega confianza en los programas informáticos de cálculo, etc.

Se minimizan los errores derivados del cálculo, pero aumentan los errores de concepción del proyecto de estructura. Todo ello está provocando en la práctica profesional un cambio de rumbo en los diferentes casos de patología:



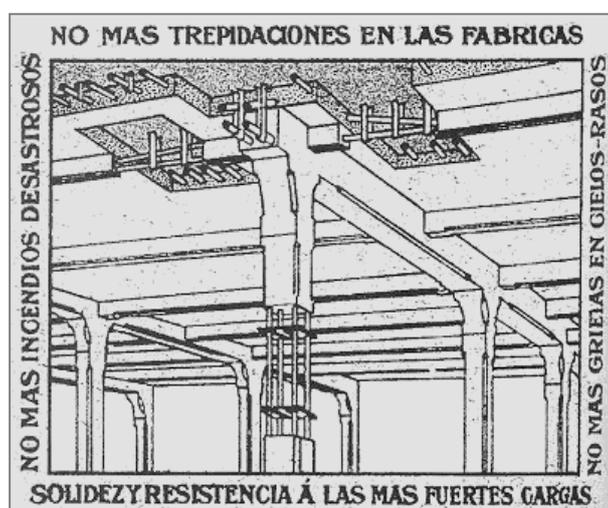
Si, en relación con lo anterior, realizamos una breve retrospectiva sobre la historia del hormigón y las normativas vinculadas, se comprende que el hormigón armado se presentaba a mediados del siglo XX como una alternativa sólida a la construcción en piedra, ladrillo o acero.

El cemento, natural primero y portland después, permitió superar el hasta entonces casi exclusivo sistema de construcción de la cal: la libre moldeabilidad, su resistencia a la compresión, la resistencia a flexo-tracción del acero, gran resistencia al fuego, un extraordinario monolitismo frente a las acciones y un coste relativamente económico.

Fue en Francia donde, a finales del siglo XIX, se iniciaron las primeras experiencias con el nuevo material, y también fue en el vecino país donde, a principios del siglo XX, comenzaron a levantarse los primeros edificios. A partir de entonces aparecieron muchos elementos y sistemas de construcción con hormigón armado, todos ellos patentados. Desde 1901, la revista Beton und Eisen que se distribuía en todo el mundo se hacía eco de la evolución del conocimiento y uso del material.

Una patente es un producto registrado y, por tanto, un producto que solamente el propietario puede autorizar su uso. Inicialmente, pues, elementos y soluciones de hormigón armado fueron protegidos por sus inventores y las patentes se establecían para cada elemento constructivo.

La patente del francés Joseph Monier constituyen el primer registro serio del nuevo material, de aquí que sea tenido como el inventor del hormigón armado, pues entre 1865 y 1880 había inscrito toda una colección de elementos: paneles (1869), depósitos (1872), puentes (1873), escaleras (1875), vigas (1878), cubiertas (1880) y pilotes (1887) como muestra la foto adjunta. Pero, abrumado por los problemas económicos ocasionados por la inicial falta de demanda, el inventor se vió obligado a venderlas a la firma alemana Ways und Freytag y murió en la penuria.



Por su parte, la patente de Francois Hennebique, eran comercializadas desde 1892. Desde 1898, en la revista Le Beton Armé, aparecían los éxitos de este sistema al lado de los fracasos de otras maneras de construir (a causa de patentes competidoras).

El sistema de Hennebique se basaba en un sencillo entramado de pilares y jácenas

que aguantaban los forjados de losas nervadas. Aunque todo el conjunto se basaba en intuiciones, siempre sometidas a ensayos de prueba y error, a la larga, se demostraría que el sistema se encontraba muy cerca de lo deseable.

Entre otras muchas patentes posteriores que comercializaban elementos de cemento o de hormigón armado cabe citar las patentes Cottancin, Bordenave, las patentes americanas Ransome, el sistema Matrai, etc.

En España, hacia el año 1898 llegaron las patentes Hennebique, con las que se construyeron unas doscientas obras esparcidas por todo el territorio. Las otras patentes más difundidas fueron: las españolas Ribera, del ingeniero de caminos José Eugenio Ribera; el sistema Blanc, unas patentes francesas que tuvieron una fuerte presencia en el norte de España; y las también francesas denominadas Metal Deployé que aquí eran comercializadas por la empresa Riviere.

A medida que el uso del hormigón armado se iba extendiendo avanzaban los estudios teóricos y, con ellos, la comprensión sobre el comportamiento resistente del mismo, ligados a la resistencia de materiales o a la química de los conglomerantes y no tanto de las indicaciones de cada una de las patentes.

En el año 1891 se formó la Comisión Francesa para estudiar la edición de una normativa, cuyo fin era poner orden a los distintos métodos de cálculo existentes y, en 1896, apareció la primera disposición oficial francesa, que abrió la puerta a las normativas de otros países; Suiza (1903), Prusia (1904), revisión francesa (1906), Reino Unido (1907) y Estados Unidos (1910).

Con fecha 2 de junio de 1917 el Ministerio de Fomento expone en la Gaceta de Madrid (origen del actual BOE) un Real Decreto instando la creación de una Comisión que redacte las bases de una instrucción que regule los proyectos de hormigón armado, tras una exposición donde reseña el avance de este nuevo material y "...los grandes aciertos que se están produciendo acompañados de algunas catástrofes".

De esta forma, la primera instrucción española aparecería en 1939, en base a los cursos impartidos, durante los años previos, por el ingeniero Juan Manuel de Zafra sobre la teoría y la práctica del nuevo material en la Escuela de Caminos de Madrid. Así, el proceso de normalización en hormigón armado iniciaba también en España su andadura, continuándose con las Instrucciones EH-44, EH-68, EH-73, EH80, EH-82, EH-88, EH-91 y EHE-98; en la actualidad rige la Instrucción EHE-08.

Resulta cuando menos anecdótico, decir que la instrucción de 1939 tenía 22 páginas incluyendo un anejo de otras siete dedicadas a ensayos, mientras que en la actualidad se sobrepasan las 500 páginas.

### 2.4.1- LA DEFORMACION EN LOS FORJADOS.

En la primera Instrucción EH-39, de obligado cumplimiento sólo en las obras públicas, encontramos una disposición muy genérica relacionada con la deformación de forjados en la que se citaba que "Los forjados que trabajen en flexión entre dos líneas de apoyos paralelos, salvo estudio detallado de su deformabilidad, se proyectarán con un espesor superior a  $L/35$ ". Como dato aislado a priori parece una limitación suficientemente estricta pero hay que considerar que en aquellos tiempos el conocimiento del material, los métodos de cálculo y de ejecución eran realmente incipientes.

En la segunda instrucción EH-44 tan solo se aporta la diferenciación de dos situaciones de forjado, un canto útil superior a  $L/35$  si estaban simplemente apoyados y  $L/40$  si eran elásticamente empotrados.

Veinticuatro años después, la instrucción EH-68 supuso un salto cualitativo y cuantitativo muy importante en las estructuras de hormigón, partiendo del hecho de ser la primera instrucción obligatoria para todas las construcciones de hormigón y no solo las obras públicas. Entre otras cuestiones, se recoge la combinación de acciones, los coeficientes de seguridad y los forjados reticulares; surgen por primera vez artículos específicos dedicados a la fisuración, adherencia, fluencia, deformación, tipos de flecha y, por vez primera, una limitación de la misma.

Al mismo tiempo es en este momento histórico cuando se incorpora a la edificación el acero AE-400, con unas características elásticas muy superiores al acero dulce tradicional, motivo que a la postre incrementaría las deformaciones de los elementos flectados de una forma directa.

El otro gran problema relativo a la deformación de los forjados sería la exclusión de esta instrucción EH-68 de los elementos pretensados, es decir, toda la tipología de viguetas prefabricadas que se ya se extendía por nuestra área geográfica en forma de forjados unidireccionales.

Con la aparición de la EH-73 nacen las limitaciones prácticas relativas a flechas admisibles en vigas de  $L/300$  para la carga total máxima y  $L/500$  para la carga permanente, ligadas a las condiciones de contorno de la pieza estructural e incluyendo el caso del voladizo.

Igualmente aparece por primera vez las prescripciones relativas a las máximas deformaciones admisibles para forjados y las relativas al canto mínimo del mismo. Los valores de esta instrucción perdurarían quince años.

Con todo, por aquel entonces, los casos de lesiones por deformación de forjados era ya muy amplia y conocida, y la repercusión de este elemento en la estructura podía alcanzar el 50%.

Poco tiempo después de la publicación de la prematura Instrucción EH-80, la Comisión Permanente encargada de su revisión, se reúne para actualizar el Artículo 41 y el correspondiente en la Instrucción del hormigón pretensado EP-77; ambos trataban de los forjados. El motivo no era otro que refundir ambas normativas, pues ambos tipos de piezas, armadas y pretensadas, constituyen un forjado.

El grupo asesor reunió a todas las partes implicadas: consultores, calculistas, proyectistas, fabricantes, laboratorios de control y a miembros de la administración.

El grupo asesor mantuvo encuentros mensuales hasta que estuvo en disposición de ofrecer una ponencia consensuada a la Comisión Permanente en 1986. Aún faltaba por llegar a un acuerdo sobre el tema de la flecha, su concepto y los criterios de cálculo en el ámbito de los forjados.

La fusión de ambas instrucciones en una única norma se prolongó hasta 1987. Posteriormente vendría la consulta previa a la Comunidad Europea y finalmente, la "Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado" (EF-88), sería aprobada en julio de 1988.

Entre otras cosas, centraría el problema de las Autorizaciones de Uso, que hasta ese momento simplemente habían paliado el problema a costa de ejecutarse forjados a partir de planos ofrecidos por el fabricante; en ocasiones sin firmar, y sin delimitar responsabilidades.

Ocho años más tarde, saldría a la luz la EF-96, que supondría una revisión profunda y una mejora de la anterior, en lo que se refiere al problema de la relación entre el canto mínimo y la comprobación de la flecha, que tantas discusiones generó en el seno de la Comisión Permanente.

Tras la EFHE-02 "Proyecto y Ejecución de Forjados Unidireccionales de Hormigón Estructural con Elementos Prefabricados", en este momento está vigente la Instrucción EHE-08 sin aportaciones importantes en el ámbito de la deformación de los forjados. En cualquier caso, ya no afectaría a esta tesis, puesto que los edificios inspeccionados sobre los que se basa el análisis, son anteriores a ella.



Ejecución correcta de tabiquerías

Cabe decir que, al margen de la condición del canto mínimo y del sistema empleado en la comprobación de la flecha, se reduciría enormemente un gran porcentaje de lesiones derivadas de la deformación excesiva de forjados, si la norma permitiese al técnico prescribir las medidas correctoras dentro del proceso constructivo las cuales eviten la acumulación de carga de unos pisos a otros: el orden de construcción (de arriba hacia abajo), el retraso en su ejecución, el retacado con materiales elásticos, el armado de tabiquerías, etc.

### 2.4.1.1- LAS INSTRUCCIONES EH-80, EP-80 y EH-82.

Las esbelteces límite del canto del forjado eran simplemente recomendables, pero conducían al empleo de valores demasiado elevados y costosos para aquella época, por lo que en la práctica no se aplicaban en nuestro territorio.

a) Prescripciones relativas a las máximas deformaciones admisibles:

- La flecha instantánea producida por la carga total, en forjados que no hayan de soportar tabiques ni muros, no excedería de  $L/300$ .
- Para forjados que sustentan tabiques o muros con mortero de cemento, la flecha no excedería de  $L/500$ .
- Para forjados que sustentan tabiques o muros con mortero de cal, la flecha no excedería de  $L/400$ .
- Para forjados que sustentan tabiques o muros con mortero de yeso, la flecha no excedería de  $L/300$ .

b) Prescripciones relativas al canto mínimo del forjado:

En general no es preciso comprobar la flecha prescrita en el apartado anterior, si la relación canto / luz es no menor que:

(*)CANTO MÍNIMO RECOMENDABLE DEL FORJADO (h)				
	AISLADO	EXTREMO	INTERIOR	VOLADIZO
Forjados sin tabiques	L/24	L/28	L/32	L/16
Tabiques / mortero yeso	L/20	L/24	L/28	L/14
Tabiques / mortero de cal	L/18	L/20	L/24	L/12
Tabiques / mortero cemento	L/14	L/18	L/20	L/10

(\*): para forjados ordinarios no superiores a  $L=6,00m$  y condiciones medias de carga.

c) Prescripciones relativas a la fluencia: ya se recoge específicamente en la instrucción general EH-73. La deformación total de un elemento será la suma de las diversas deformaciones parciales:

DEFORMACIONES	DEPENDIENTES DE LA TENSION		INDEPENDIENTES DE LA TENSION
	INSTANTANEAS	DIFERIDAS (fluencia)	
Reversibles	elásticas	elásticas diferida	termohigrométricas
Irreversibles	remanentes	plásticas diferida	retracción

La normativa también establece que la deformación total por fluencia (instantánea más la diferida) puede considerarse proporcional (de dos a tres veces en condiciones medias) a la deformación elástica instantánea, a partir del módulo de deformación longitudinal del material  $E_c=19000 (f_{ck})^{1/2}$

### 2.4.1.2- LA INSTRUCCIÓN EF-88.

La gran novedad radicaba en que el art 6.3.5 incorporaba el valor del canto mínimo, indicado en una tabla en el apartado de flecha. Esto redundaría en el notable aumento del canto de los forjados con respecto a la anterior norma y, con ello, en el previsible detrimento de la patología derivada de la flexibilidad de los forjados.

a) Prescripciones relativas a las máximas deformaciones admisibles: siendo L la luz del tramo y, en voladizos, 1.60 veces el vuelo:

La flecha total a plazo infinito en forjados, que no soporten ni descansen en elementos no estructurales, no excederá de  $L/250$  ni  $L/500 + 1\text{cm}$ .

Para forjados que sustentan o descansan en elementos no estructurales ordinarios, la flecha activa no excederá de  $L/400$  ni  $L/800 + 0,6\text{cm}$ .

Para forjados que sustentan o descansan en elementos no estructurales sensibles, la flecha activa no excederá de  $L/500$  ni  $L/1000 + 0,5\text{cm}$ .

b) Prescripciones y cometarios relativos al canto mínimo:

CANTO MÍNIMO OBLIGATORIO DEL FORJADO (h)								
	AISLADO		EXTREMO		INTERIOR		VOLADIZO	
TIPO DE ACERO AEH	500	400	500	400	500	400	500	400
Cubiertas sin tabiques	L/26	L/27	L/29	L/30	L/34	L/35	L/10	L/11
Pisos, tabiques normales	L/22	L/24	L/26	L/28	L/29	L/31	L/9	L/9
Pisos, tabiques sensibles	L/20	L/22	L/22	L/24	L/27	L/29	L/8	L/8

- También establecía condiciones relativas a las sobrecargas, a que las luces fuesen equilibradas y a que el armado fuese estricto.

- Nótese que el canto mínimo se establece en función de la luz, del tipo de tramo (aislado, continuo extremo, continuo interno y voladizo), del tipo de sustentación (apoyado o empotrado), del tipo de acero (AEH-400 o AEH-500) y de la existencia de tabiquerías.

- Se refiere a forjados ordinarios con luces menores de 6m.; en caso de superarse este valor requiere la comprobación de la flecha.

Una cuestión, cuando menos curiosa, es que no podíamos tomar un canto inferior a ese mínimo, aunque calculásemos la flecha por el método general del Art 45° de la EH-88 y los valores resultantes fuesen inferiores a los valores de deformación prescritos en la norma EF.

c) Prescripciones relativas a la fluencia: se introduce a mayores las especificaciones del art 45° relativas al coeficiente función de la aplicación de las cargas, desde los tres meses (1,0) a los cinco o más años (2,0).

### 2.4.1.3- LA INSTRUCCIÓN EF-96.

Aunque los resultados de su aplicación ya no los podemos contemplar en el ámbito de la tesis, cabe decir que se trata de una revisión en profundidad de la norma anterior. Entre otras, esta norma establece un valor del canto total mínimo, cumplido el cual, no se requiere verificar la flecha en la mayoría de los casos. Los cambios más significativos serían:

a) Prescripciones relativas a las máximas deformaciones admisibles: siendo L la luz del tramo y, en voladizos, 1,60 veces el vuelo:

- La flecha total a plazo infinito no excederá al menor de los valores  $L/250$  y  $L/500+1\text{cm}$ .

- Para forjados que sustentan tabiques, la flecha activa no excederá al menor de los valores  $L/400$  y  $L/800+0,6\text{cm}$ .

- Para forjados que sustentan tabiques muy rígidos o muros de cerramiento de fábrica, la flecha activa no excederá al menor de los valores  $L/500$  y  $L/1000+0,5\text{cm}$ .

Comentarios: se habla de "forjados que sustenten tabiques...". La EF-88 hablaba de "forjados que sustenten o descansan...". La patología vinculada a deformaciones, en el caso de cerramientos y tabiquerías, es independiente de que estén por encima o por debajo del forjado. También se exige el cumplimiento en todos los casos de la flecha total a plazo infinito, mientras que la EF-88 solo lo exigía en algunos casos.

b) Prescripciones relativas al canto mínimo del forjado (h): referidas a forjados de viguetas y/o losas alveolares pretensadas con luces menores de 7 y 12m, respectivamente. Se consideran sobrecargas ordinarias de hasta  $4,00\text{ kN/m}^2$ .

$h = \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot L/C$  (con L: luz del forjado y C: coeficiente de la tabla)

$\delta_1 = (q / 7)^{1/2}$  (con q: carga total en  $\text{kN/m}^2$ )

$\delta_2 = (L / 6)^{1/4}$  (con L: luz de cálculo en m.)

Coeficiente C		AISLADO	EXTREMO	INTERIOR
FORJADOS ARMADOS	Con tabiques	18	22	25
	Con muros	17	21	24
	Cubiertas	20	24	27
FORJADOS PRETENSADOS	Con tabiques	20	24	27
	Con muros	19	23	26
LOSAS ALVEOLARES	Con tabiques	40	--	--
	Con muros	36	--	--
	Cubiertas	45	--	--

### Comentarios:

- El canto mínimo viene fijado por unos coeficientes correctores en función de la luz y de la carga total, que los compara con unos valores de referencia con los que se ha determinado el coeficiente C de la tabla.
- No se aplica ningún coeficiente corrector para el caso de nervios de ancho superior al normal, como es el caso de paños de doble vigueta.
- Los coeficientes correctores C son más conservadores que los predecesores de la EH-80. Evidentemente, el motivo, es que ahora se puede obviar la comprobación a flecha. Esto redundaría en un ligero aumento del canto de los forjados y, con ello, en el notable detrimento de la patología derivada de la flexibilidad de los forjados.
- No figuran los coeficientes C para el caso de forjados pretensados en cubiertas, ni el caso de voladizos.

#### 2.4.1.4- LAS INSTRUCCIONES EH-98, EFHE-02 y EHE-08.

Si bien estas instrucciones no las podemos contemplar en el período de la tesis, cabe mencionarlas como una referencia desde la evolución normativa que afecta a la deformación de los forjados.

- EHE-98: Establece la comprobación de flecha en función de la esbeltez de la viga (elemento fuertemente armado) y del forjado (elemento débilmente armado) cuando sea igual o inferior a los valores de la tabla inferior, para situaciones normales de uso y aceros B-500 (exclusivamente):

SISTEMA ESTRUCTURAL	RELACION L/d	
	Vigas	Forjados
Viga simplemente apoyada Losa uni o bidireccional apoyada	14	20
Viga continua en un extremo Losa unidireccional continua en un extremo	18	24
Viga continua en dos extremos Losa unidireccional continua	20	30
Recuadros exteriores y de esquina sobre apoyos puntuales	16	22
Recuadros interiores sobre apoyos puntuales	17	25
Voladizo	6	9

- EFHE-02: Se mantienen las prescripciones relativas a las máximas deformaciones admisibles que en la EF-96.

En cuanto a las prescripciones relativas al canto mínimo, simplemente decir que se simplifica el cuadro de coeficientes C de la EF-96. Además, se recoge el caso del voladizo:

Coeficiente C		AISLADO	EXTREMO	INTERIOR
FORJADOS ARMADOS	Con muros o tabiques	17	21	24
	Cubiertas	20	24	27
FORJADOS PRETENSADOS	Con muros o tabiques	19	23	26
	Cubiertas	22	26	29
LOSAS ALVEOLARES	Con muros o tabiques	36	--	--
	Cubiertas	45	--	--
VOLADIZOS	Con muros o tabiques	6	--	--
	Otros casos	9	--	--

- EHE-08: Es la primera instrucción de hormigón que refunde la EHE (hormigón armado) con la EF (forjados) y además comparte prescripciones con el CTE, entre otras, las limitaciones de la flecha total:

a) Prescripciones propias relativas a las máximas deformaciones admisibles: siendo L la luz del tramo y, en voladizos, 1,60 veces el vuelo:

La flecha total a plazo infinito no excederá al menor de los valores  $L/250$  y  $L/500+1\text{cm}$ .

Para forjados que sustentan tabiques, la flecha activa no excederá al menor de los valores  $L/500$  y  $L/1000+0,5\text{cm}$ . (Nótese que resulta más exigente que en la anterior instrucción).

b) Prescripciones relativas a la esbeltez del forjado: Básicamente recoge las prescripciones de la EHE-98, pero se matizan, incluyendo un factor K que tiene en cuenta los diferentes sistemas estructurales, limitando la validez a secciones en T con relación de anchura de ala y alma superior a 3 y considerando el 80% de la misma.

En lo relativo a los valores límite de esbeltez se produce un aumento de las exigencias para forjados (se destacan en negrilla los valores incrementados):

SISTEMA ESTRUCTURAL	RELACION L/d	
	Vigas	Forjados
Viga simplemente apoyada Losa uni o bidireccional apoyada	14	20
Viga continua en un extremo Losa unidireccional continua en un extremo	18	<b>26</b>
Viga continua en dos extremos Losa unidireccional continua	20	30
Recuadros exteriores y de esquina sobre apoyos puntuales	16	<b>23</b>
Recuadros interiores sobre apoyos puntuales	17	<b>24</b>
Voladizo	6	<b>8</b>

En cuanto a las prescripciones relativas al canto mínimo, decir que se mantiene igual tanto la expresión de cálculo del mismo como el cuadro de coeficientes C de la EFHE-02, con la particularidad de que se excluye el caso del voladizo.

### 2.4.1.5- CONCLUSIONES: EVOLUCION NORMATIVA/DEFORMACIÓN.

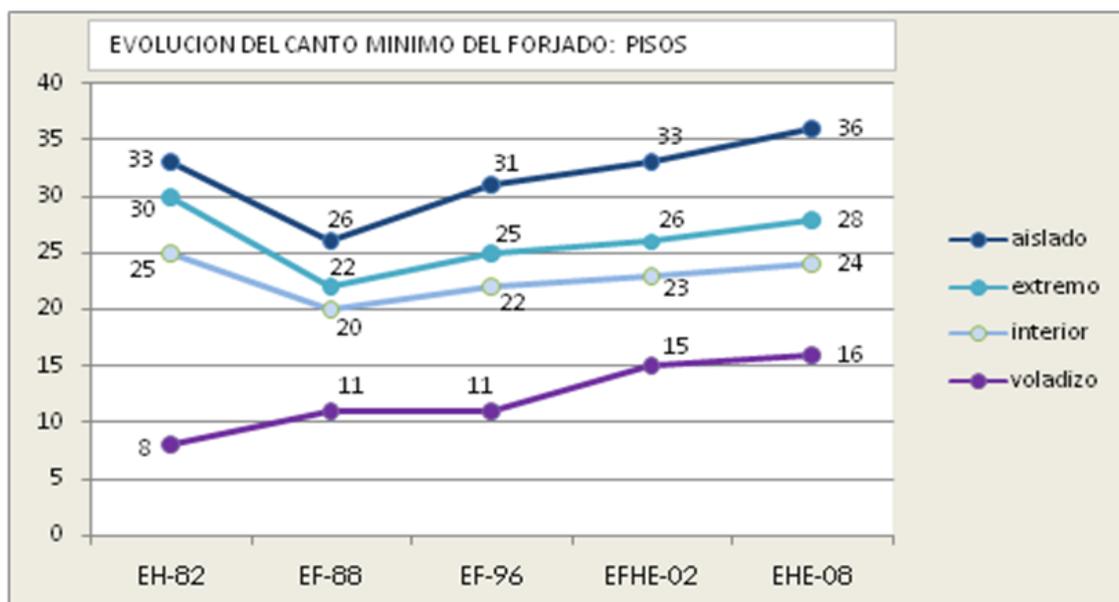
En los últimos veinticinco años, se ha pasado de carecer de normativa a incrementarse las exigencias en cinco ocasiones sucesivas, ante el problema de la abundante patología generada por la excesiva flexibilidad del forjado. Esto ya nos arroja una primera conclusión, tanto de la importancia de la rigidez del forjado como de su vulnerabilidad.

A modo de ejemplo orientativo, vemos en el siguiente cuadro comparativo como ha ido evolucionando el canto del forjado con las diferentes normativas, para un caso estándar de edificio de viviendas. Como hipótesis de partida, se considera:

- Forjado de viguetas armadas y bloque aligerante de hormigón.
- Luces de vano 6,00 m y de vuelo 1,00 m.
- Carga total en piso / cubierta: 7,50 / 6,00 kN/m<sup>2</sup>.
- Carga variable de piso / cubierta: 2,00 / 1,00 kN/m<sup>2</sup>.

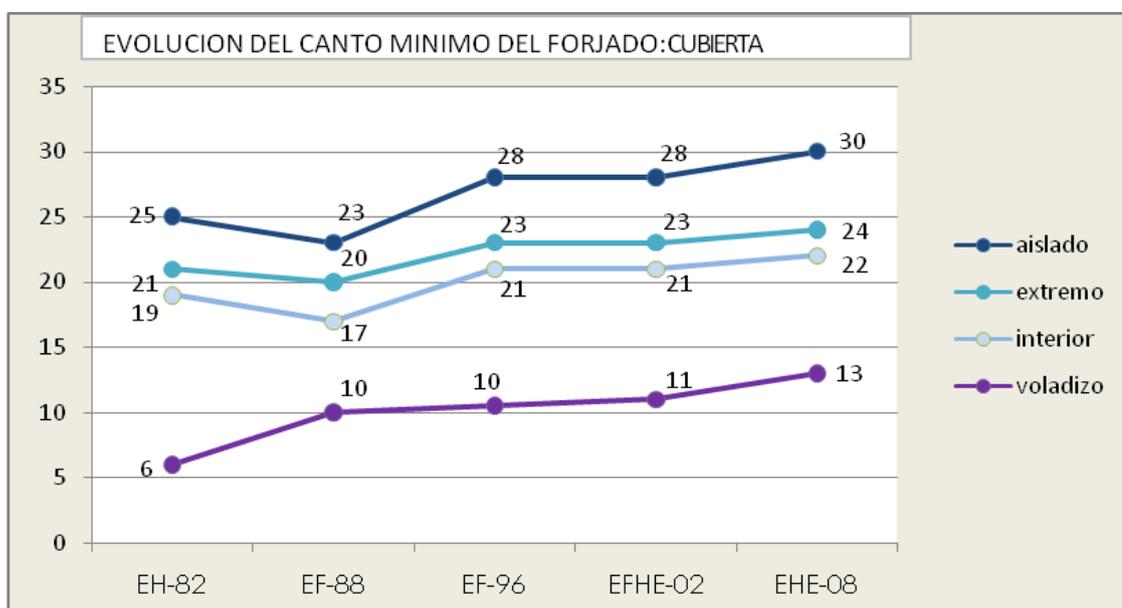
NORMA	Caso	Canto mínimo del forjado (cm)			
		aislado	extremo	interior	voladizo
EH-82*	Cubierta	25	21	19	6
	Piso compartimentado	33	30	25	8
EF-88	Cubierta	23	20	17	10
	Piso compartimentado	26	22	20	11
EF-96	Cubierta	28	23	21	--
	Piso compartimentado	31	25	22	--
EFHE-02	Cubierta	28	23	21	11
	Piso compartimentado	33	26	23	15
EHE-08	Cubierta	30	24	22	13
	Piso compartimentado	36	28	24	16

Volcando los valores de esta tabla en los siguientes gráficos podemos comprender la creciente exigencia de cantos que han ido imponiendo las diferentes instrucciones como respuesta al reconocido problema de la patología en forjados por deformación excesiva:



Hay que aclarar que los valores del canto correspondientes a la Instrucción EH-82, si bien a priori resultaban ser más exigentes, hay que indicar que eran simplemente recomendados. Ésto conducía al empleo de cantos demasiado elevados para aquella época, por lo que, en términos generales, no fueron utilizados por los técnicos en la edificación residencial.

Los valores resultantes de la Instrucción EF-88 no son tan exigentes como la anterior EH-82, pero a partir de entonces se consideran valores mínimos y, por lo tanto, desde entonces, se exige su cumplimiento.



## 2.4.2- LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN.

La calidad, en este caso del hormigón, se define como el conjunto de las propiedades y características del producto que le confiere su aptitud para satisfacer necesidades establecidas o implícitas. Actualmente, esta definición englobaría la resistencia mecánica, el aspecto visual y la durabilidad del material.

Tradicionalmente, tan solo las necesidades de resistencia mecánica eran tenidas en cuenta a la hora de valorar la calidad, de ahí que los ataques químicos y la corrosión de armaduras hayan sido una constante a lo largo del trabajo de inspección efectuado:



Carbonatación del hormigón por ataque químico, corrosión de las armaduras y posterior desprendimiento del recubrimiento (Marín – Pontevedra)

Durante el periodo estudiado en esta tesis, desde 1955 hasta 1990, se ha utilizado teóricamente como hormigón estándar el de resistencia característica en torno a  $120 \text{ kp/cm}^2$  (125 era el criterio exigido en la EH-73) y, hacia el final del periodo, el de  $175 \text{ kp/cm}^2$ .

Mi experiencia personal en intervenciones de rehabilitación y/o refuerzo de estructuras me han llevado a concluir como muy optimistas dichas previsiones teóricas.

Como veremos a continuación, esta exigencia de la resistencia, en términos generales, no ha ido acompañada de otras exigencias relevantes sobre recubrimientos, áridos, aditivos, contenido de cemento, relación agua-cemento, etc., lo cual ha conllevado unas dosificaciones de muy baja calidad en cuanto a la durabilidad del material se refiere.

Con un breve repaso a las diferentes instrucciones de hormigón en nuestro territorio, y hasta la llegada de la EH-91, demostraremos que apenas se avanzó nada en cuanto a los requisitos de dosificación, recubrimientos, agresividad y/o puesta en obra adecuadas, tendentes a obtener hormigones de cierta durabilidad, por lo que resulta de escaso interés intentar establecer un análisis estadístico de la relación entre lesiones vinculadas y la evolución de la normativa.



Efectos de la corrosión en ambiente marino sobre una estructura de hormigón

### 2.4.2.1- INSTRUCCIÓN EH-39

Aunque muy sucinta de contenidos, era la primera referencia de aplicación en las edificaciones más antiguas de las que manejamos datos en el presente trabajo. Cabe decir que esta Instrucción era "... de obligado cumplimiento en todas las obras públicas, ya se realicen por la administración o por contrata".

- Cementos: esta Instrucción se refiere en todo momento a los cementos recogidos en el Pliego de Cementos de 1928.

- Agua de amasado: se limita el contenido de anhídrido sulfúrico al 3%, y el de cloruro sódico y/o magnésico al 1%, debiendo presentar el agua de amasado un pH aproximado de valor 7.

- Aridos: tendrán igual o superior grado de cualidades de las que se exigen al hormigón fabricado con ellos y estarán exentos de sustancias perjudiciales, de forma que mezclados con un volumen de agua igual al suyo aparente durante 24 horas y concentrado por ebullición al 10 %, continúe el agua cumpliendo las condiciones mínimas exigidas para ella en su empleo en el amasado. Establece la limitación de un contenido de materias extrañas en el 3%.

- Dosificaciones: por la relación directa que puede tener con la durabilidad hay que indicar que esta Instrucción prescribía las siguientes dosificaciones (Art. 12º):

CEMENTO (Kg)	AGUA (litros )	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )
400	200	170
375	200	150
360	220	120
300	220	90
250	220	60

- Cualidades del hormigón: los hormigones armados expuestos a la intemperie y los hormigones en masa expuestos a la acción de heladas no tendrán una absorción de agua superior al 5 y 6 % en peso, por inmersión de probetas previamente desecadas".

- Curado del hormigón: nos dice que se debe proceder manteniendo las superficies húmedas y que deberá durar hasta que el hormigón alcance la resistencia prevista o por lo menos 15 días, pudiendo reducirse a 7 días con tiempo húmedo.
- Protección: los recubrimientos se fijan equivalentes a un diámetro o en un centímetro, aumentándose a tres si el elemento está expuesto a la intemperie. Considera las acciones agresivas al hormigón indicando que: "Las obras que estén en contacto con aguas o sustancias que por su composición química puedan atacarla se protegerán superficialmente por enlucidos, revestimientos o con materiales de construcción que las aislen de este ataque con toda eficacia."



Aspecto de la cara inferior de una riostra de cimentación en contacto con el terreno de un edificio de Coruña de 1943.

Como puede apreciarse, pocas especificaciones se referían a la durabilidad, y así ha sido hasta hace muy pocos años, dándose el caso que los proyectistas seguían pensando que el hormigón, por el hecho de ser resistente ya era durable, cosa que evidentemente no es cierta puesto que la durabilidad depende mucho de su permeabilidad.

#### 2.4.2.2- INSTRUCCIÓN EH-44

Muy similar a la anterior en cuanto a las condiciones de durabilidad del hormigón. Tan solo reseñar, a mayores, los siguientes matices:

- Agua de amasado: se incrementa el control sobre la materia orgánica con un límite al 0.3% y los sulfuros al 0.5%. Se prohíbe expresamente la presencia de hidratos de carbono y el pH se establece ahora entre 6 y 8.
- Áridos: se establecen unas composiciones granulométricas mínimas mediante una clasificación por tamices
- Dosificaciones: se simplifican las dosificaciones a cuatro categorías, reduciéndose el contenido en agua y aumentando las exigencias de resistencia en términos generales:

CEMENTO (Kg)	AGUA (litros )	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )
400	210	150
350	205	130
250	200	85
200	193	60

#### 2.4.2.3- INSTRUCCIÓN EH-68

A pesar de que esta instrucción supuso un salto cualitativo muy importante a efectos de los métodos de cálculo, en lo que se refiere a las condiciones de durabilidad apenas se avanzó respecto a las instrucciones anteriores.

- Se establecen las resistencias características mínimas en 60Kg/cm<sup>2</sup> para el hormigón en masa y en 120Kg/cm<sup>2</sup> para el hormigón armado, pero sin correlacionarlas directamente con el contenido de agua/cemento. Sí se indica un contenido máximo de cemento de 400kg, para hormigones ligeramente armados 200Kg, para hormigones armados 250Kg y un mínimo de 150Kg para hormigón en masa.
- Los recubrimientos aumentan a un mínimo de dos centímetros o el diámetro de la barra en superficies expuestas a la intemperie y, cita expresamente, que en ambientes químicamente agresivos el recubrimiento vendrá fijado por el proyectista; en la práctica habitual de la época se traducía en una escasez generalizada del recubrimiento.
- En cuanto a los sistemas de compactación y curado tan solo aconseja realizar procedimientos adecuados a la consistencia de la mezcla, reflejando por primera la vez la obligación de mantener la humedad durante el primer fraguado pero sin establecer criterios de plazos ni métodos.

#### 2.4.2.4- INSTRUCCIÓN EH-73

Supuso un salto cualitativo en materia de la calidad del hormigón, del control de la ejecución, la combinación de cargas y sistemática de los métodos de cálculo. Como novedad se establecen tipos, clases y categorías para cada cemento: pórtland, siderúrgico, puzolánico o aluminoso.

Se incluyen en el Art. 22º generalidades sobre la durabilidad, la corrosión y el ataque químico, aunque sin concretar especificaciones, dejándolo en manos del proyectista o de ensayos de laboratorio.

En cuanto a la dosificación, el agua de amasado, los recubrimientos, la compactación y el curado, si bien aumenta el articulado, los valores prácticamente se mantienen sin cambios con respecto a la instrucción anterior.

#### 2.4.2.5- INSTRUCCIÓN EH-80 y EH-82

Aclarar que la EH-82 más que una nueva instrucción es una corrección de erratas sobre la anterior.

Se actualiza la recepción de cementos a la normativa RC-75.

- Los recubrimientos: se introduce, a mayores de los criterios anteriormente fijados, el hecho de que deben ser iguales o superiores a los tres cuartos del tamaño máximo del árido.
- Durabilidad: en términos generales no hay variaciones respecto de la instrucción anterior.

#### 2.4.2.6- INSTRUCCIÓN EH-88

Se produce el salto cualitativo más importante en la historia de la instrucción española en lo referente a la durabilidad:

- Si bien el Art. 10.5 fija la resistencia mínima del hormigón en 125 kp/cm<sup>2</sup>, en el Art. 26.3 establece que ésta se corregirá en función del tipo de acero utilizado, siendo de 150 kp/cm<sup>2</sup> para acero corrugado AEH-400 y de 175 kp/cm<sup>2</sup> para acero corrugado AEH-500. Así, en la práctica, se extendería rápidamente el uso de hormigones H-175.
- Los recubrimientos: se mantiene el criterio de que deben ser iguales o superiores a 1,25 veces el tamaño máximo del árido; además, también se especifica que el recubrimiento será superior al mayor diámetro de la barra y, además, al diámetro equivalente si se trata de un grupo de barras.

Pero la mayor novedad radica en el art. 13.3 con la incorporación y definición de los Ambientes I, II y III como criterio para fijar los espesores de los recubrimientos, aumentando de los 20 a los 40mm en ambientes agresivos o marinos. Se incluye que en los ambientes especialmente agresivos se cuidará la compacidad y la no porosidad del hormigón.

- Dosificación (Art. 24.4): se incorpora, por primera vez, un apartado relativo a las limitaciones en los contenidos agua/cemento con el fin de garantizar la durabilidad del material y una permeabilidad reducida para garantizar la protección de las armaduras frente a la corrosión, en función del ambiente:

AMBIENTE	RELACION A/C	CONTENIDO MIN. DE CEMENTO (Kg/m <sup>3</sup> )	
		Horm. en masa	Horm. armado
I	0.65	150	250
II	0.60	175	275
II (heladas)	0.55	175	300
III	0.55	200	300
III (heladas)	0.50	200	300
Quím. agresivo	0.50	200	325

#### 2.4.2.7- LA INSTRUCCION EH-98.

Si bien los resultados de la aplicación de estas instrucciones no las podemos contemplar en el período de la tesis (1955 hasta 1990), cabe mencionarlás como una referencia desde la evolución normativa que afecta a la durabilidad del hormigón.

Por primera vez se establece un capítulo completo (Cap. VII) enfocado a la durabilidad del hormigón, asociándolo a la vida útil del edificio y al concepto de degradación por causas diferentes de las acciones y sollicitaciones.

Entre las cuestiones más relevantes, se establece una serie de clases y subclases específicas de exposición ambiental en relación con los procesos de degradación del hormigón.

Se prescribe el valor del recubrimiento mínimo en función de la clase de exposición ambiental, incluso el de los elementos prefabricados, como es el caso de las viguetas de los forjados. En la misma línea se prescriben los valores máximos de la abertura de fisuras, la máxima relación agua-cemento, el contenido mínimo de cemento y las resistencias mínimas del hormigón compatibles con los requisitos de durabilidad.

Se incorporan articulados referentes a la resistencia del hormigón frente a las heladas, al ataque por sulfatos, frente al agua del mar, la erosión y la reactividad álcali-árido.

#### 2.4.2.8- LA INSTRUCCION EHE-08.

La novedad de esta instrucción radica en el Anejo 9, en el que se define el Estado Límite de Durabilidad asociado al fallo producido por los procesos de degradación del hormigón durante su vida útil. Igualmente incorpora un capítulo dedicado al Mantenimiento.

Se contempla por primera vez un procedimiento semiprobabilista de forma análoga al resto de los Estados Límites, estableciéndose una metodología de cálculo asociada a las clases de exposición ambiental, el proceso de degradación dominante y a unos modelos de durabilidad.

RESUMEN: Aclarar que si bien la simple dosificación del hormigón, su resistencia característica y el recubrimiento prescrito no suponen un índice real de las cualidades propias del hormigón a efectos de la durabilidad, a efectos de esta tesis sí resultan parámetros suficientes para establecer una aproximación al problema.

Por otra parte, dado el periodo abarcado por esta investigación (1955-1992), no tiene sentido correlacionar el resultado de los daños con la evolución de la normativa, puesto que hasta la EH-88 no se adoptaron medidas específicas sobre la durabilidad.

En cualquier caso, mostramos el siguiente cuadro que resume las principales características comentadas sobre cada instrucción:

CUADRO RESUMEN (*)				
	CEMENTO (Kg)	AGUA (litros )	RESISTENCIA (Kg/cm <sup>2</sup> )	RECUBRIMIENTO (mm)
EH-39	360	220	120	10 / Ø <sub>barra</sub>
EH-44	350	205	130	10 / Ø <sub>barra</sub>
EH-68	200-250	---	120	20 / Ø <sub>barra</sub>
EH-73	200-250	---	120	20 / Ø <sub>barra</sub>
EH-80/82	200-250	---	150	20 / Ø <sub>barra</sub> / 1,25 Ø <sub>árido</sub>
EH-88	Según Ambiente		175	Según Ambiente
EH-98	Según Ambiente		250	Según Ambiente
EH-08	Según Ambiente		250	Según Ambiente

(\*) Se indican solo los valores prescritos más utilizados en cada instrucción.

### **3.- ESTUDIO ESTADISTICO.**

3.1- MARCO DE INVESTIGACION.

3.2- EL PROGRAMA DICTEC-GALICIA.

3.3- TRATAMIENTO INFORMATICO DE DATOS.

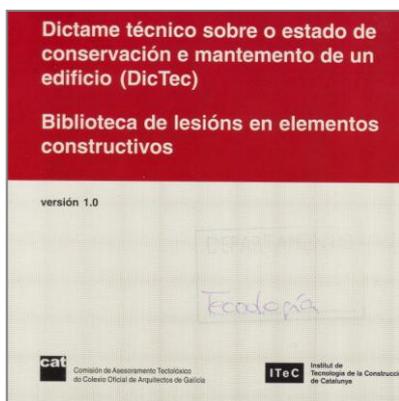
## 3.1 – MARCO DE INVESTIGACION

La estadística es una ciencia con base matemática referente a la recolección, análisis e interpretación de datos, que busca explicar condiciones regulares en fenómenos de tipo aleatorio.

En este capítulo se explican tanto la aplicación informática empleada como las nociones estadísticas básicas que se aplicaron en el manejo de la base de datos obtenida en el trabajo de campo previo, para la posterior inferencia de los resultados y conclusiones.

Se quiere dejar constancia de que el objetivo de la tesis es dar una visión general del panorama de las lesiones en los forjados de hormigón desde el punto de vista de una Tesis Doctoral de arquitecto, y no una cuantificación exhaustiva de datos desde el punto de vista de un investigador estrictamente estadístico.

### 3.1.1 - PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.



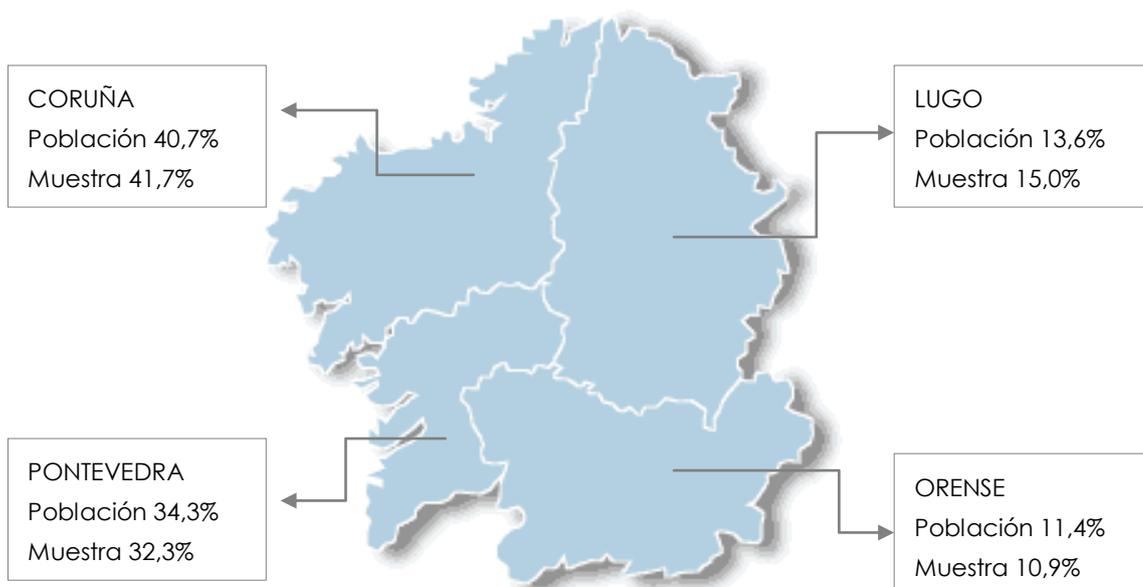
Recordamos que el objeto de la presente tesis y su aportación original versan sobre el análisis y la cuantificación estadística de las lesiones en forjados de hormigón armado, dada la base de datos interna generada por la aplicación informática DicTec, con vistas a determinar la frecuencia con la que se producen determinados daños, analizando sus causas, el origen que los motivan y su relación con la evolución de la normativa vinculada en España.

### 3.1.2 - POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO.

Cuando se realiza un estudio de investigación estadística se pretende inferir o generalizar resultados a partir de los datos obtenidos de una población (conjunto total) o de una muestra (subconjunto limitado de la población).

En nuestra Tesis definimos como POBLACIÓN la edificación residencial en Galicia, lo cual, evidentemente, resulta inaccesible de una forma global.

Por lo tanto, establecemos como MUESTRA el colectivo de 746 edificios de viviendas de promoción pública con estructura de hormigón armado, construidos entre 1955 y 1992. Este volumen edificatorio está repartido, proporcionalmente a la distribución de población, por todo el territorio gallego, englobando un total de 19.095 viviendas de las cuales fueron inspeccionadas in situ 11.447 (59,95%):



Recordamos que, si bien es cierto que inicialmente el patrimonio inmobiliario transferido a la Comunidad Autónoma y, posteriormente, supeditado al Convenio IGVS-COAG abarcaba 778 edificios, finalmente se procedió a la inspección de 746. La diferencia, exactamente 32 edificios, fueron descartados por diversos problemas ajenos a la CAT (comunidades inmersas en procesos judiciales, negativa expresa de los vecinos a la inspección y otros).

Como demostraremos más adelante, esta muestra resulta suficientemente representativa y aleatoria (se desconocía de antemano el estado del edificio en la mayor parte de los casos) con un grado de fiabilidad del orden del 96%.

Como FUENTE DE INFORMACION se considera la compilación de la base de datos de los informes de Inspección Técnica realizados al amparo del Convenio IGVS-COAG durante el bienio 1999-2000, con la idea de obtener conclusiones generalizables a toda la población.

Se deja constancia de que dichos informes fueron realizados en cada caso por equipos de dos arquitectos y referidos fundamentalmente a la descripción del estado del edificio por subsistemas constructivos. Los arquitectos intervinientes fueron:

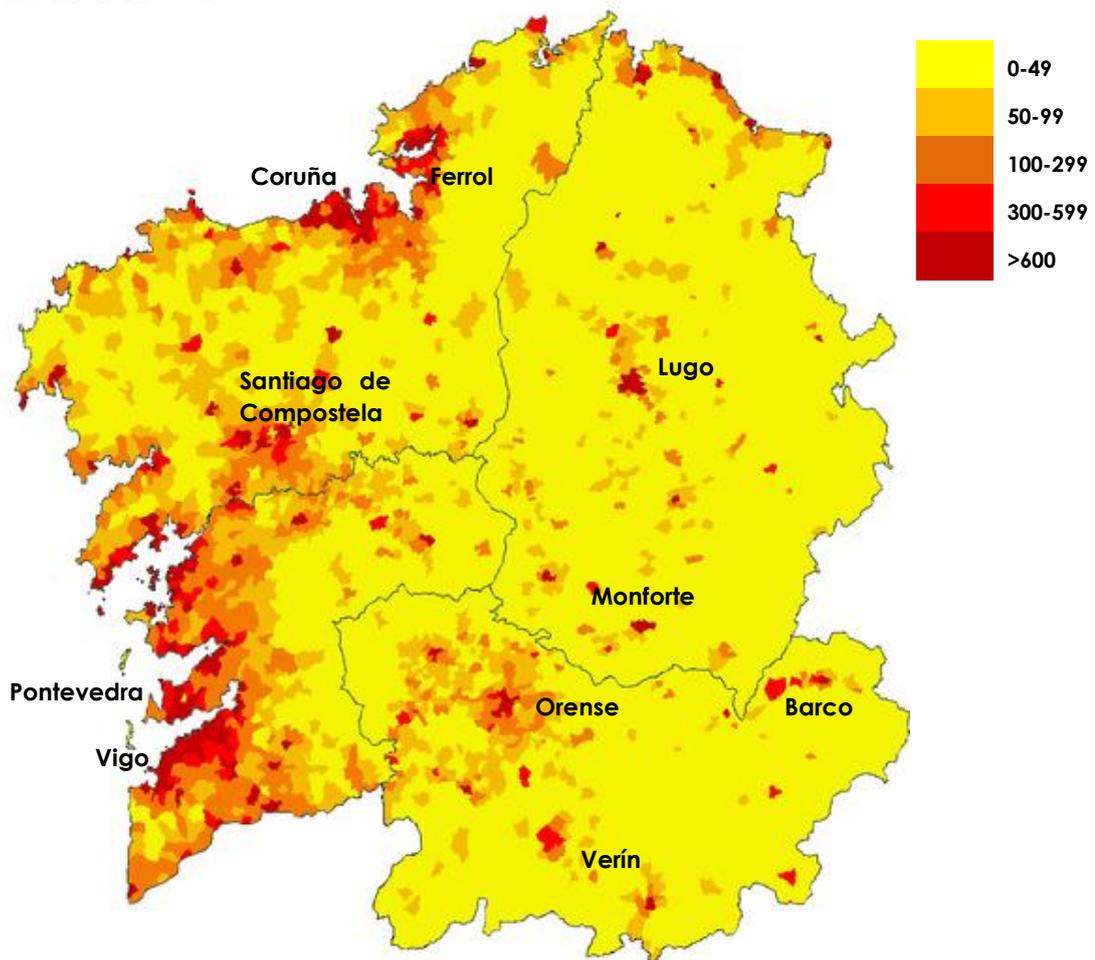
D. José Manuel Alonso Velasco.	D <sup>a</sup> . Marina Maroño Cal.
D. José Antonio Álvarez Álvarez.	D. Ramiro Martínez Casado.
D <sup>a</sup> . Mercedes Álvarez López.	D. David Martínez Quinteiro.
D <sup>a</sup> . Carolina Álvarez Míguez.	D <sup>a</sup> . María Asunción Méndez Vilalta.
D. Carlos Alvira Duplá.	D. Francisco Manuel Moreda Gil.
D. Antonio Balboa Pombo.	D. Ricardo No Fuentes.
D. Lucio Fernando Barbeito Borrego.	D. Daniel Noguera García.
D. Julio Besiga Díaz-Blanco.	D. Pedro Antonio Novo Arcay.
D. Juan Boedo Vilabella.	D. Constantino Pampín Oros.
D. Ramón Cabarcos Rodríguez.	D. Oscar Pérez Paz.
D. Francisco José Cela Rodríguez.	D. Rafael Pier Romero.
D. Gonzalo Crecente Maseda.	D. José Emilio Piña Ordiz.
D. José Manuel Dans Sanjurjo.	D. Jesús Quiroga López.
D. Antonio Espárrago Arzadun.	D. Ramón Reboreda Martínez.
D. Francisco Javier Fernández Fuertes.	D. José Luis Recuna Cuiña.
D. Enrique Luis Fernández Seara.	D. Daniel Rivoira Zecca.
D <sup>a</sup> . Alejandra Fdez-Gago Longueira.	D. Antonio Rodríguez Fdez-Pousa.
D. Francisco Javier Ferreiro Nuñez..	D. Carlos Rodríguez Puente.
D <sup>a</sup> . Inmaculada Garcés Navarro.	D. Julio Daniel Rodríguez Rodríguez.
D. Daniel Angel Gómez Frutos.	D <sup>a</sup> . Cecilia Rojo Ramírez.
D <sup>a</sup> . María Consuelo González García.	D <sup>a</sup> . Mónica Rúa Ferreño.
D <sup>a</sup> . María Carmen González Iglesias.	D. José Antonio Ruiz Del Río.
D <sup>a</sup> . María José González Suárez.	D <sup>a</sup> . María Montserrat Ruiz Fernández.
D. Luis Gorozari Del Valle.	D. Marcos Sánchez López.
D. J. Ricardo Goyeneche Foregger.	D. Ignacio Soto González.
D. Mariano De Labra Morán.	D. José María Ucha Dolz del Castellar.
D. Alvaro José Lopez Aenlle.	D. Manuel Valle Oubiña.
D <sup>a</sup> . Mónica López Álvarez.	D. Luis María Vázquez Arcay.
D. José Manuel López Saenz.	D <sup>a</sup> . Beatriz Vázquez Arcay.
D. José David Mahia Castelao.	D. Eduardo Vigo Trastoy.

### 3.1.3 - REPRESENTATIVIDAD DE LA MUESTRA.

Una de las mayores preocupaciones a la hora de realizar un trabajo estadístico es la representatividad de la muestra manejada con el fin de garantizar que las conclusiones inferidas sean extrapolables a la población total, en nuestro caso, a toda la edificación de uso residencial en Galicia.

A este efecto, en este apartado demostraremos que la muestra de partida reúne una serie de características (localización, tamaño, superficie y edad) que garantizan la suficiente homogeneidad del estudio realizado.

Previamente, mostramos el siguiente mapa del Instituto Galego de Estadística referente a la distribución de población en Galicia y expresado en densidad por kilómetro cuadrado. Se observa claramente la concentración de población en las áreas costeras del suroeste y del norte; en la zona interior, se refleja una alta densidad tan solo en las áreas de influencia de las capitales y los núcleos urbanos más importantes:



Así pues, en referencia a la dispersión geográfica del estudio realizado, se garantiza que se ha cubierto de forma proporcional y uniforme la geografía gallega:

<b>EDIFICIOS ESTUDIADOS EN FUNCION DEL TAMAÑO DE LA POBLACION</b>		
Número de habitantes	Edificios estudiados	
	Número	%
Hasta 5.000	54	7,24
Entre 5.000 y 10.000	69	9,25
Entre 10.000 y 100.000	341	45,71
Más de 100.000 (*)	282	37,80
TOTAL	746	100,00

(\*) Dadas las características poblacionales de Galicia, tan solo superan los 100 mil habitantes los términos municipales de Orense, Pontevedra, Vigo y A Coruña.

<b>EDIFICIOS ESTUDIADOS POR ZONA GEOGRAFICA (interior/costa) (*)</b>		
Zona geográfica	Edificios estudiados	
	Número	%
Interior	268	35,92
Costa	478	64,08
TOTAL	746	100,00

(\*) De interés por la acumulación de lesiones derivadas del ambiente agresivo marino.

<b>DISTRIBUCION GEOGRÁFICA DE LOS EDIFICIOS ESTUDIADOS (746 individuos)</b>		
Núcleo de población	Edificios estudiados	
	Número	%
PROVINCIA DE PONTEVEDRA	241	32,31
Vigo.	160	21,45
Pontevedra	36	4,83
Marín	9	1,21
Mos	7	0,94
A Guarda	6	0,80
O Porriño	5	0,67
A Estrada	4	0,54
Vilagarcía de Arousa.	4	0,54
Ponteareas	2	0,27
Redondela	2	0,27
Tui.	2	0,27
Forcarei	1	0,13
O Grove	1	0,13
Poio	1	0,13
Sanxenxo	1	0,13

<b>PROVINCIA DE A CORUÑA</b>	<b>311</b>	<b>41,69</b>
A Coruña	105	14,08
Santiago de Compostela.	101	13,54
Ferrol	81	10,86
Noia	7	0,94
Pontedeume	6	0,80
Corcubión	4	0,54
Ares	2	0,27
Fene	2	0,27
Ames	1	0,13
Culleredo	1	0,13
Toques.	1	0,13
<b>PROVINCIA DE LUGO</b>	<b>112</b>	<b>15,01</b>
Lugo	41	5,50
Monforte	23	3,08
Burela	9	1,21
Cervo	9	1,21
Barreiros	7	0,94
Viveiro	7	0,94
Sarria	5	0,67
Mondoñedo	4	0,54
O Vicedo	3	0,40
A Fonsagrada	2	0,27
Portomarín	1	0,13
Valadouro	1	0,13
<b>PROVINCIA DE ORENSE</b>	<b>82</b>	<b>10,99</b>
Ourense	17	2,28
Verín	17	2,28
O Barco de Valdeorras	8	1,07
Ribadavia	8	1,07
O Carballiño	6	0,80
Vilamartín de Valdeorras	4	0,54
Celanova	3	0,40
A Rúa	3	0,40
Esgos	3	0,40
A Gudiña	2	0,27
Manzaneda	2	0,27
Maside	3	0,40
A Mezquita	2	0,27
Nogueira de Ramuín	2	0,27
Xinzo de Limia	2	0,27

Con lo que respecta al índice de viviendas, de plantas y superficies por edificio inspeccionado:

<b>CLASIFICACIÓN DE LOS EDIFICIOS POR NUMERO DE VIVIENDAS</b>		
Número de viviendas por edificio	Edificios	
	Número	%
De 1 a 2	44	5,90
De 3 a 8	161	21,58
De 9 a 15	203	27,21
De 15 a 30	141	18,90
Más de 30	197	26,41
<b>TOTAL</b>	<b>746</b>	<b>100,00</b>
<b>CLASIFICACIÓN DE LOS EDIFICIOS POR NUMERO DE PLANTAS</b>		
Número de plantas sobre rasante	Edificios	
	Número	%
De 1 a 2	105	14,07
De 3 a 5	394	52,82
De 6 a 8	181	24,26
Más de 8	66	8,85
<b>TOTAL</b>	<b>746</b>	<b>100,00</b>
Número de plantas bajo rasante	Edificios	
	Número	%
1	112	88,89
2	11	8,73
3 o más	3	2,38
<b>TOTAL</b>	<b>126 / 746</b>	<b>16,89 %</b>
<b>CLASIFICACIÓN DE LOS EDIFICIOS POR SU SUPERFICIE CONSTRUIDA</b>		
Superficie de la vivienda	Viviendas	
	Número	%
$s < 50 \text{ m}^2$	1.142	5,98
$50 \text{ m}^2 \leq s < 60 \text{ m}^2$	1.671	8,75
$60 \text{ m}^2 \leq s < 70 \text{ m}^2$	5.813	30,44
$70 \text{ m}^2 \leq s < 80 \text{ m}^2$	4.163	21,80
$80 \text{ m}^2 \leq s < 90 \text{ m}^2$	2.018	10,57
$90 \text{ m}^2 \leq s < 100 \text{ m}^2$	1.702	8,91
$100 \text{ m}^2 \leq s$	2.586	13,54
<b>TOTAL</b>	<b>19.095</b>	<b>100 %</b>

Y por último, en cuanto a la distribución histórica del estudio de referencia, tenemos:

<b>CLASIFICACIÓN DE LOS EDIFICIOS POR LA DÉCADA CONSTRUCTIVA</b>		
Década de construcción	Edificios estudiados	
	Número	%
1951 - 1960	103	13,80
1961 - 1970	151	20,24
1971 - 1980	190	25,47
1981 - 1990	298	39,95
1990 - 1992	4	0,54
TOTAL	746	100,00

Con todos estos datos, podemos concluir que queda garantizada la suficiente homogeneidad del estudio realizado en nuestro territorio.

### 3.1.4 – TIPOS DE VARIABLES: INDEPENDIENTES / DEPENDIENTES.

Los múltiples datos que obtuvimos de cada edificio de la muestra son los valores que se miden y asignan a las diferentes variables (descritas en el apartado 3.3.2) las cuales, posteriormente, volcamos en una hoja de cálculo Excel, programa que fue utilizado para procesar los datos y obtener las gráficas con los resultados correspondientes.

La naturaleza de las observaciones es de gran importancia a la hora de elegir el método estadístico más apropiado para abordar el análisis. Con este fin, la estadística clasifica las variables, a grandes rasgos, en tres tipos: variables lógicas, cuantitativas y cualitativas.

- Variables lógicas: cuando admiten valores dicotómicos del tipo si/no.
- Variables cuantitativas: son las variables que pueden medirse, cuantificarse o expresarse numéricamente, esto es, valores concretos, objetivos y cerrados que permiten recoger estadísticas objetivas. Estas pueden ser de dos tipos:
  - Variables cuantitativas continuas, si admiten tomar cualquier valor (P.e.: superficie útil, altura libre, etc.).
  - Variables cuantitativas discretas, si sólo pueden tomar valores enteros (P.e.: número de plantas, de portales, viviendas visitadas, etc.).
- Variables cualitativas: este tipo de variables representan una cualidad o atributo que clasifica a cada caso en una de las varias categorías posibles. La situación más sencilla es aquella en la que se clasifica cada caso en un grupo (P.e.: localización, descripción, causas, gravedad, etc.). Otras veces, este tipo de clasificación no es suficiente y se requiere un mayor número de subcategorías (daños derivados del cálculo, del proyecto, de la ejecución, del uso y mantenimiento, etc.).

En el proceso de medición de estas variables se utilizan dos escalas:

- Escalas nominales: ésta es una forma de observar o medir en la cual los datos se ajustan por categorías independientes que no mantienen una relación de orden entre sí (fisuraciones, desprendimientos, deformaciones, etc.).
- Escalas ordinales: en las escalas utilizadas, existe un cierto orden o dependencia entre las categorías (grados de fisuración, carbonatación, corrosión, etc.).

### 3.1.5 – MEDIDA DE LAS VARIABLES.

No todas las variables obtenidas tienen el mismo tratamiento a la hora de inferir información: porcentajes, promedios, comparativas, tendencias, etc.

- variables dicotómicas, (por ejemplo, si se pregunta por la existencia o no, de una determinada lesión), donde se representa la frecuencia relativa dentro del grupo.

- variables numéricas, (por ejemplo, cuando se pide el porcentaje de un determinado daño), usamos como medida de tendencia central el valor promedio del grupo; esta medida nos permite “condensar la información” y darnos una idea de la situación general; sin embargo, esta medida por sí sola, no nos dice nada de si las valoraciones son coincidentes (todas próximas a la variable media) o, por el contrario, si están alejadas unas de otras.

Para complementar la medida de las variables numéricas, en especial la dispersión o las tendencias, hemos utilizado los conceptos estadísticos más habituales:

MEDIDA DE LA TENDENCIA: Estudia el valor alrededor del cual se agrupan los datos.

- MEDIA O VALOR MEDIO: no es más que la suma de todos los valores de una variable dividida entre el número total de datos de los que se dispone. Si denotamos por  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  los  $n$  datos que tenemos recogidos de la variable en cuestión, el valor medio vendrá dado por:

$$Media(X) = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n}$$

Como ejemplo, consideremos 11 edificios de edades de uso 21, 32, 40, 23, 11, 28, 36, 27, 16, 30 y 25 años. La media de edad de estos datos será, aplicando la expresión anterior = 26,3 años.

- MEDIANA: medida de la tendencia central que nos indica la observación equidistante de los extremos. Esto es el valor que deja a la mitad de los datos por encima de dicho valor y a la otra mitad por debajo. Si ordenamos los datos del ejemplo anterior de menor a mayor observamos la secuencia siguiente:

11, 16, 21, 23, 25, 27, 28, 30, 32, 36, 40

El valor que se encuentra en el medio nos dará 27, que es el valor de la mediana.

Si la media y la mediana son iguales, la distribución de la variable es simétrica. La media es muy sensible a la variación de las puntuaciones, sin embargo, la mediana es menos sensible a dichos cambios.

- MODA: medida de la tendencia central, aunque menos usual, nos da el valor de la variable que presenta una mayor frecuencia. En nuestro ejemplo, no se repite ningún valor.

MEDIDA DE DISPERSIÓN: Estudia la forma de agrupación de variables alrededor de un valor, esto es, ¿muy concentrados?, ¿muy dispersos?. La dispersión de datos resulta relevante para describir variables continuas, es decir, aquellas que pueden tomar cualquier valor dentro de un rango numérico determinado.

- VARIANZA: es la media de los cuadrados de las diferencias entre cada valor de la variable y la media aritmética de la distribución.

$$S_x^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \text{Media}(X))^2}{n}$$

- DESVIACIÓN TÍPICA: es la raíz cuadrada de la varianza. Expresa la dispersión de la distribución y es la medida de dispersión más utilizada en estadística. Nos indica en qué medida los valores están agrupados sobre la media, es decir, si los resultados son más o menos coincidentes.

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (X_j - \text{Media}(X))^2}{n}}$$

- DESVIACIÓN ESTÁNDAR: se usa cuando se quieren señalar valores extremos en una distribución de datos. El haber cambiado en el denominador de la anterior expresión, n por n-1, está en relación al hecho de que esta segunda fórmula arrojaría una estimación más precisa.

- AMPLITUD: es la diferencia entre el valor mayor y el menor de la distribución.

- COEFICIENTE DE VARIACIÓN: es una medida de dispersión relativa de los datos y se calcula dividiendo la desviación típica por la media y multiplicando el cociente por 100. Su utilidad estriba en que nos permite comparar la dispersión o variabilidad de dos o más grupos.

### 3.1.6 – LIMITACIONES ESTADISTICAS.

En el estudio estadístico que vamos a presentar en esta tesis hay algunos aspectos que deben ser matizados desde un primer momento.

Cuando reducimos las lesiones a parámetros estadísticos ciertas variables no permiten objetivar de forma clara y exhaustiva unas averías de otras. Veamos el porqué:

- Una lesión se suele producir generalmente por la combinación de diferentes causas y/o localizaciones. A la hora de catalogar estas lesiones, lo que figura en muchos casos es la causa principal. Esto genera que, en algunos gráficos y tablas, la suma de porcentajes superen el valor del 100%.

Ejemplo: el caso de la deformación excesiva de un forjado, donde resulta prácticamente imposible estimar que porcentaje de los daños corresponden a la propia flexión, a la transferencia de descargas desde los pisos superiores o a las deformaciones preexistentes por un pésimo encofrado.

- La base de datos analizada corresponde a la inspección técnica de edificios residenciales; esto quiere decir que, en primer término, se trata de una inspección meramente visual y limitada. La condición impuesta inicialmente a los equipos de trabajo era inspeccionar al menos un 70% de las viviendas de cada edificio lo cual, en algunas ocasiones, no permitió objetivar el origen concreto de una lesión. Tan solo la intervención posterior en algunos casos graves nos ha permitido delimitar el verdadero problema.

Ejemplo: dos casos de deformación excesiva de forjado detectados en sendas inspecciones. En el primero, la causa última eran las coqueras halladas al realizar una cata; en el segundo caso encontramos una pésima adecuación del binomio bovedilla-vigueta, por lo que diversos nervios no habían quedado correctamente hormigonados entre ambos elementos.

- La clasificación estadística relativa a la responsabilidad legal de las lesiones, considerando que pueden ser compartidas por diferentes técnicos, debe ser tomada siempre en cuenta a la hora de valorar e interpretar los resultados obtenidos, ante la ausencia de pruebas de laboratorio, ensayos, realización de catas, etc.

Ejemplo: el caso de manifestarse una "corrosión de armaduras" no podemos objetivar a priori si la causa se debió a la escasez del recubrimiento, a la ausencia de separadores, a un mal vibrado a la normativa vigente, a la dosificación del hormigón, etc. No obstante sí podríamos hablar de un error común de ejecución y, por lo tanto, de un error en la dirección de obra.

- Los errores de cálculo como origen de las lesiones, tal como hemos visto, engloban diferentes aspectos: estimación de acciones, modelización, métodos de cálculo, etc. En alguna ocasión tan solo los análisis numéricos, al margen de una inspección visual, nos permitieron discernir unos errores de otros. No obstante sí podemos objetivarlos como un error de cálculo.
- Los errores de proyecto como origen de las lesiones, tal como hemos visto, engloban diferentes aspectos: diseño incorrecto, planos insuficientes, ausencia de estudios del terreno, de detalles constructivos, etc. En esta línea, la falta de documentación suficiente no permite diferenciar unos errores de otros. Por recordar un ejemplo: una lesión por asiento de una zapata, no podíamos determinar a priori si se trataba de un problema de dimensionado erróneo o un inadecuado o inexistente estudio geotécnico. No obstante sí podemos discernir que se trata de un error común, esto es, asignarlo a un error de proyecto.
- Los errores de ejecución pueden tener su origen, entre otras, en el mal encofrado, pésimo hormigonado, curado inadecuado, etc. La mera inspección visual no suele permitir discernir unos de otros, pero esto no invalida la estadística de errores de ejecución.
- Los valores de los costos de reparación que figuran en los informes, y por ende, las estadísticas extrapoladas al respecto, si bien son orientativos, tienen como referencia común la base de precios de la construcción de Galicia, con lo cual sí resultan comparables.

Si bien existen estas lógicas limitaciones (comunes a los estudios estadísticos vistos en el aptdo. 2.2), la representatividad de las conclusiones extraídas resulta altamente fiable. Aunque los resultados son rigurosos, éstos se deben analizar más que como valores numéricos absolutos como portadores de unas determinadas órdenes de magnitud, es decir, de unas tendencias concretas.

### 3.1.7 – INFERENCIAS ESTADISTICAS.

Con la idea de poder generalizar las conclusiones de esta tesis desde la muestra (subgrupo) a la población (grupo), el proceso de inferencia se efectúa por medio de métodos estadísticos tradicionales. En base a esto, el resultado de este trabajo se infiere en tres niveles consecutivos:

- A) Estudio estadístico global sobre patología en el parque inmobiliario de referencia, analizando las lesiones por subsistemas constructivos.
- B) Estudio estadístico general, en continuidad al trabajo anterior, sobre la casuística de las lesiones en el ámbito de los elementos estructurales (forjados, vigas, voladizos, pilares, muros y cimentación).
- C) Estudio estadístico particularizado, en continuidad al trabajo anterior, sobre la casuística de las lesiones en el ámbito de los forjados de hormigón.

Posteriormente, se establecerá una comparativa de nuestras conclusiones con las de los estudios estadísticos ya expuestos (Aptdo 2.2); pero como en toda inferencia comparativa, en general hay que ser muy cauteloso a la hora de extrapolar datos numéricos de los distintos estudios sobre patología, estableciendo correlaciones simplistas, pues ente ellos suelen surgir los siguientes inconvenientes:

- Los campos a tratar son reducidos en cada estudio estadístico: tipología estructural, emplazamiento, sintomatología, causas (mecánicas, químicas o físicas), origen, coste de reparación, etc.
- Las poblaciones y/o muestras de partida no coinciden en muchos casos: en el nuestro se aborda estrictamente la edificación residencial de promoción pública en el territorio gallego.
- Los ámbitos de estudio de las lesiones no coinciden en muchos casos: en nuestra tesis nos centramos en los forjados de hormigón armado.
- Se utilizan metodologías diferentes a la hora de manipular la información: en nuestro caso de inspección técnica de edificios se utilizó una herramienta informática común por parte de los arquitectos inspectores.

### 3.2 – LA APLICACIÓN INFORMÁTICA DICTEC-Galicia

Para la confección de sus informes, los inspectores hicieron uso de la aplicación informática DicTec “Dictamen Técnico sobre el estado de conservación y mantenimiento del edificio”, original del Instituto de la Construcción de Cataluña. Esta aplicación permitía la introducción sistemática de los datos obtenidos en la visita al edificio y los vertía después a dos archivos informáticos generados automáticamente.

El primero de estos archivos, en formato de documento de texto de Microsoft Word, tenía como fin la obtención del ejemplar impreso del informe; el segundo, en formato de base de datos de Microsoft Access, ha permitido la confección de la gran base de datos que ha servido como fuente de datos para la realización de esta tesis.

Esta aplicación fue originalmente modificada para satisfacer los objetivos del Convenio IGVS-COAG, mediante la versión DicTec-G. Las modificaciones realizadas, como supervisor, sobre el programa informático original consistieron básicamente en:

- Definición de los criterios de calificación de la gravedad de la lesión.
- Delimitación de la urgencia de la reparación.
- Ampliación/modificación de variables en la ficha lesiones.
- Adaptación de los términos y sistemas constructivos locales.
- Adecuación de materiales propios de nuestra área geográfica.
- Eliminación de la ficha de inspección de forjados relativa a la aluminosis.

La base de datos así obtenida reúne, por lo tanto, una enorme cantidad de información sobre los edificios inspeccionados. Por el gran número de éstos, supone una *muestra* de excepcional amplitud sobre la *población* total de los edificios de vivienda de nuestro país. Por lo tanto, se trata una fuente de datos sin precedentes para el análisis de las patologías constructivas en Galicia.

### 3.2.1 – ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN.

Una vez instalado el programa en el disco duro del ordenador, la estructura del directorio de instalación resultaba la siguiente:

EDITEC.EXE:	programa de aplicación.
BEDECE.MDB:	base de datos general del programa.
DBPLAMANT.MDB:	base de datos de los dictámenes técnicos.

- Directorio DC: conteniendo los originales de los documentos en formato RTF que se utilizan para la generación de los manuales de uso y mantenimiento de los dictámenes.
- Directorio DICTAME: conteniendo los textos de los dictámenes elaborados en formato nativo del editor propio incorporado al programa. Cada dictamen tiene un número de codificación interno asociado.
- Directorio DICGRF: conteniendo las imágenes gráficas adjuntadas a los informes en formato JPG.
- Directorio DICRTF: volcando las imágenes gráficas a un archivo RTF exportado por la aplicación para centralizar y organizar los ficheros.
- Directorio DICTACT: es un directorio temporal conteniendo las imágenes gráficas del documento en curso, en formato BMP e WMF.
- Directorio LESIONS: conteniendo la biblioteca de las fichas de lesiones recabadas por el usuario sobre los diferentes elementos del edificio y estructurada en forma de árbol por niveles o sistemas constructivos.

### 3.2.2 – DESCRIPCION DEL PROGRAMA.

El objetivo del programa original era la informatización del modelo de dictamen tipo de inspección técnica, siguiendo las prescripciones de la Orden de 9 de septiembre de 1997, por la que se regulaba inicialmente el Libro del Edificio del Departamento de Política Territorial y Obras Públicas.

La aplicación permitía gestionar los dictámenes que se redactaban, introduciendo los datos en el lugar correspondiente. Una vez introducidos, se generaba automáticamente un documento con formato de texto y una base de datos que permitiría hacer estadísticas globales, porcentuales y comparativas entre dictámenes.

Hay variables lógicas (si/no) que se activan haciendo clic sobre ellas y variables cuantitativas numéricas (continuas/discontinuas) a las que se les puede especificar el número correspondiente.

El documento obtenido podía retocarse con el editor que subministra la propia aplicación, o bien exportarlo en formato RTF para modificarlo con Word o cualquier otro editor del mercado que soporte este formato.

El modelo del dictamen constaba básicamente de las siguientes secciones:

- Datos generales:
  - Identificación del edificio
  - Localización del edificio
  - Año de construcción
  - Datos del contacto
  - Autores de la inspección
  - Fecha de la inspección
- Características tipológicas:
  - Nº de escaleras, locales comerciales, plantas, viviendas, alturas libres, superficies, relación de viviendas inspeccionadas, etc.
- Fotografía identificativa de la fachada
- Planos del edificio:
  - Emplazamiento
  - Sección tipo
  - Plantas tipo (indicando las zonas húmedas)
  - Planta de cubierta.

- Descripción y estado de conservación de cada uno de los subsistemas constructivos presentes en el edificio, en estructura de árbol. Por cada subsistema existen elementos de nivel inferior, subdivididos en carpetas, que son los identificadores de obra con su ficha asociada. Los elementos están organizados de manera que si se activa un elemento, sus antecesores quedan marcados automáticamente y viceversa.
  - Sótano
  - Estructura
  - Cubierta
  - Cerramientos exteriores
  - Acabados interiores
  - Elementos comunes
  - Instalación de agua
  - Instalación de electricidad
  - Instalación de gas
  - Instalación de saneamiento
  - Instalación de calefacción
  - Instalación de ventilación
  - Instalación de audiovisuales
  - Inst. de Protección contra incendios
- Lesiones aparentes y operaciones de mantenimiento corrector en cada uno de los subsistemas citados.
- Valoración económica estimada por cada subsistema.
- Valoración general del estado del edificio: el programa permite que los técnicos expongan su valoración subjetiva sobre el estado de conservación general del edificio y puedan explicar aquellos puntos que durante la entrada de datos quedasen poco claros.
- Motivo por el cual se decide la necesidad de una diagnóstico estructural, si procede.
- Fecha y firma de los dos técnicos redactores del Dictamen.
- Manual de uso y mantenimiento, que consta de las siguientes partes por cada subsistema presente en el edificio:
  - Instrucciones de uso.
  - Operaciones de mantenimiento obligatorias.
  - Operaciones de mantenimiento recomendables.
  - Recomendaciones en caso de siniestros.

Se adjunta a modo de ejemplo una ficha tipo de la sección de Datos Generales y Características Tipológicas, una vez que el programa la ha generado en formato de documento de texto de Microsoft Word. Por motivos de confidencialidad los datos identificativos se han eliminado:

**DATOS GENERALES**

Nº de expediente	32072		
Enderezo			
Concello	Orense	Código postal	32001
Parroquia		Provincia	Orense
Ano da construción	1982		
Autores da visita			
Data de visita	11- julio - 2000		
Tipo de propiedade	Comunidad de propietarios		

**CONTACTO**

Nome			
Cargo	Presidente de la comunidad de vecinos		
Enderezo	Idem: piso 2ºA		
Concello	Ourense	Código postal	32001
Teléfono	981--- ---	Fax	---

**CARACTERISTICAS TIPOLOGICAS**

Tipoloxía do edificio	Entre medianeras, 2 bloques en L compartiendo sótanos y planta baja		
Configuración edificio	2 PSS + 2 PB + 5 PT + 1BC + C		
Altura libre das plantas	2,50m	Nº total plantas	5
Viviendas en planta soto	0	Nº total viviendas	35
Viviendas en p. baixa	0	Nº de locais visitados	1
Viviendas en p. tipo	9	Nº de viviendas visitadas	22
Viviendas en p. baixo cub	0	Nº de plantas visitadas	5
Locais visitados	37- IV		
Viviendas visitadas	Portal 33: 1ºA, 1ºB, 2ºA, 3ºA, 4ºB, 5ºA, 5ºB Portal 35: 1ºA, 2ºA, 2ºB, 3ºA, 3ºB, 4ºB, 5ºA Portal 37: 1ºA, 1ºC, 2ºA, 3ºA, 4ºB, 4ºC, 5ºA, 5ºC		

Escaleira portal	Locais comerciais	Prazas aparcamento	Viviendas tipo	Número viviendas	Pezas por vivanda tipo	Sup. Útil m <sup>2</sup> aprox
33			A	5	K+S+3D+2B	90.00
			B	5	K+S+3D+2B	90.00
35			A	5	K+S+3D+2B	90.00
			B	5	K+S+3D+2B	90.00
37			A	5	K+S+3D+2B	90.00
			B	5	K+S+3D+2B	90.00
			C	5	K+S+2D+1B	75.00
TOTAL	7	35		35		765.00

### 3.2.3 – FICHA TIPO DE UNA LESION: SUBSISTEMA ESTRUCTURA

Cada ficha de lesiones tiene asociada información tanto gráfica (fotos y/o dibujos) como en formato texto, pudiéndose activar o no diferentes variables. Desarrollamos las posibilidades correspondientes a las lesiones del subsistema estructura:

- Localización dentro del edificio:
  - Viga
  - Voladizo
  - Forjado
  - Pilar
  - Muro
  - Cimentación
- Sintomatología:
  - Fisuras / Grietas
  - Roturas
  - Deformación excesiva
  - Manchas / eflorescencias
  - Desprendimientos / disgregación
  - Carbonatación
  - Corrosión de armaduras
  - Inestabilidad
  - Hundimiento
- Causas:
  - Asiento diferencial
  - Ataque químico / Recubrimiento insuficiente
  - Cuantía insuficiente / armado incorrecto
  - Efectos térmicos
  - Empuje del terreno
  - Encofrado / Hormigonado defectuoso
  - Humedades
  - Sección insuficiente
  - Vibración de maquinarias
- Origen / responsabilidad:
  - Fallo del suelo
  - Error de Proyecto
  - Error de Ejecución
  - Fallo del material
  - Falta de uso y/o mantenimiento

- Calificación de la gravedad:
  - Leve: cuando no afecta a la seguridad y no representa ningún riesgo o peligro para usuarios o terceros.
  - Importante: cuando puede afectar a la seguridad, pero no representa ningún riesgo para usuarios o terceros.
  - Grave: cuando afecta a la estabilidad y/o representa un peligro para usuarios o terceros.
- Urgencia de la reparación / intervención:
  - Diferida: la actuación se puede demorar dentro de los tres años posteriores a la redacción del informe.
  - Urgente: el plazo para afrontar la intervención no puede demorarse más de un año desde la fecha de redacción del informe.
  - Inmediata: cuando la actuación a realizar, provisional o definitiva, no permite ningún atraso. Incluye apuntalamiento y/o desalojo.
- Comentarios y recomendaciones.
- Medición y coste orientativo de la reparación

Se adjunta a modo de ejemplo una ficha tipo; en primer lugar, tal y como el programa la genera al codificarla para la base de datos y, a continuación, tras haber sido tratada por el usuario con el editor interno incorporado al programa:

**Localización del elemento lesionado:** Hormigón armado / Forjado

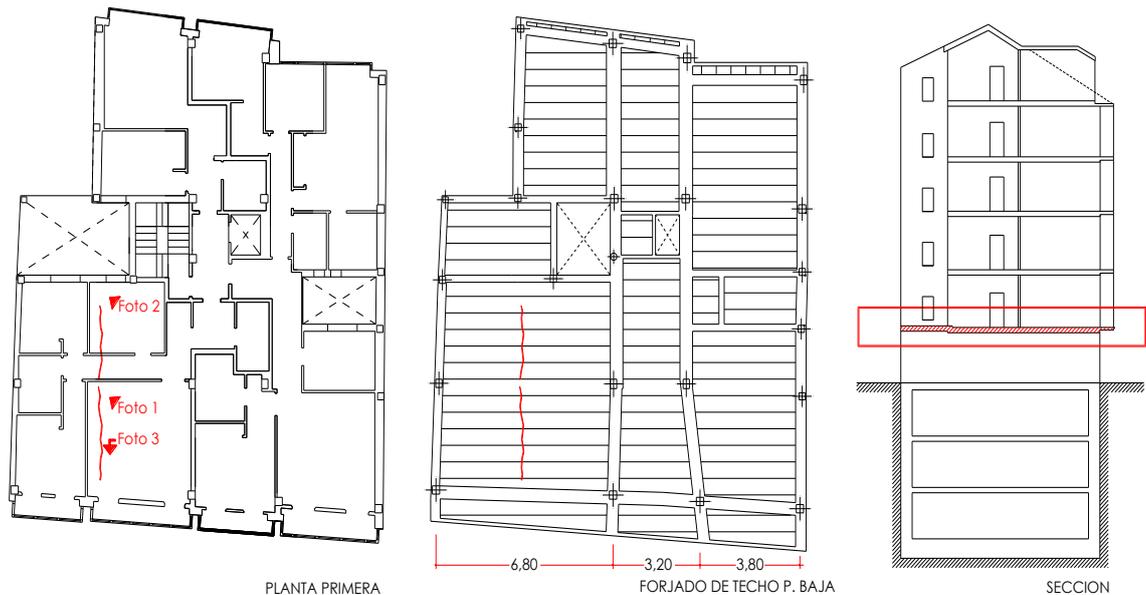
**Descripción – sintomatología:** Fisuras / Deformación excesiva

**Causas:** Canto insuficiente

**Origen:** Error de Proyecto

**Calificación de la gravedad:** Leve

**Urgencia:** Diferida



**Localización del Elemento lesionado:** Forjado horizontal de suelo de planta baja. Unidireccional, canto 20+5cm. con viguetas de hormigón. Luz media del paño extremo afectado 6,80m.

**Descripción de la lesión - sintomatología:**

A) Fisuras longitudinales sobre pavimento de baldosas cerámicas y en falso techo de escayola, localizadas en la línea media del paño (línea de máxima flexión) y transversales a la dirección de forja, con un espesor que oscila entre 0,2 y 1,00mm.

B) Fisuras en las tabiquerías: Son horizontales en las fábricas perpendiculares al sentido de forja, y a unos 45° en las paralelas, con un espesor que oscila entre 0,2 y 0,4mm.

**Causas:** Deformación excesiva del forjado por su baja relación canto-luz. Además, en esta planta se produce la acumulación de las cargas que se transmiten, a través de la tabiquería interior, desde las plantas superiores hasta la planta afectada.

**Origen:** Posiblemente en fase de proyecto: canto inadecuado

**Calificación de la gravedad:** Leve - No afecta a la seguridad estructural del elemento.

**Urgencia:** Diferida – se puede demorar hasta un plazo máximo de tres años

**Comentarios:** Justificación: la planta inferior es un local comercial prácticamente diáfano (sin oposición a la libre deformación) y la fisuración es en el centro de vano.

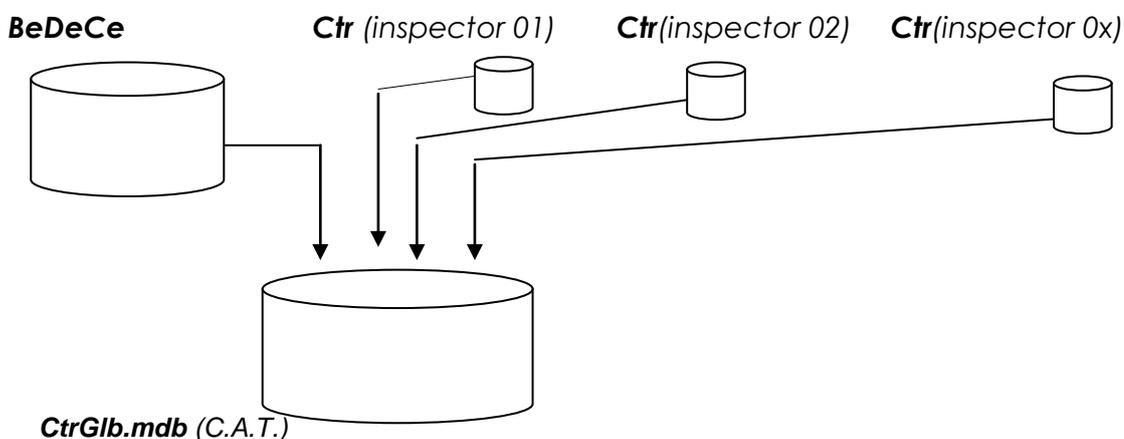
### 3.3 – TRATAMIENTO INFORMÁTICO DE DATOS.

Dado que el tratamiento de la información debe resultar lo más objetivo posible, el programa DicTec-Galicia se tomó como base metodológica para la redacción de los informes, y consecuentemente, para el posterior análisis estadístico de la base de datos.

La base de datos, que contiene toda la información procedente de los dictámenes técnicos realizados por los arquitectos inspectores del Convenio IGVS-COAG, queda finalmente compilada en el archivo CtrGlb.mdb que es la suma de dos subbases de datos:

- BeDeCe.mdb: es la base de datos suministrada por el programa y contiene la estructura de los subsistemas y la descripción de los elementos constructivos de los informes técnicos según hemos visto anteriormente (Aptdo 3.2.2). Incluyen los literales que identifican cada elemento.

- CTR.mdb: son las bases de datos que los inspectores generan y envían a la CAT con cada informe de inspección, para poder incorporar sus datos a la estructura general. Almacenan las claves que identifican a los diferentes elementos.



La aplicación CtrGlb es un programa que permite añadir datos particulares exportados por los inspectores a la base de datos general (CAT-COAG).

Su ventana principal nos da información básica de la base de datos, es decir, el recuento general del tipo de datos almacenados hasta el momento actual. Entre otros, nos aporta información sobre el número de dictámenes existentes en la base de datos, el código del usuario, la fecha de creación del archivo, y si es el caso, el número de dictámenes de los enviados que ya habían sido importados.

### SUPRESIÓN DE DATOS NO UTILIZADOS:

Dado que son muchas las variables de esta base de datos que no son necesarias ni importantes para esta tesis estadística se prescinde de describir todas aquellas que se refieren a sistemas constructivos distintos del subsistema estructura de hormigón, tanto las referentes a la descripción constructiva como las relativas a las lesiones del edificio.

En el grupo de las tablas utilizadas, y como condición expresa de confidencialidad por parte del IGVS, se omiten aquellos datos que sean relevantes para asegurar la confidencialidad exigida por parte de las entidades oficiales. Entre otros:

- Arquitectos redactores del informe
- Técnicos redactores de los proyectos.
- Localización del edificio.
- Personas de contacto.
- Recomendaciones de actuación urgentes
- Valoración técnica y económica del edificio.

### 3.3.1 – ESTRUCTURA Y DATOS DE LA BASE DE DATOS - BeDeCe.

Contiene la base de datos tipo suministrada por el programa (no tienen consideración de variables), con la estructura de los subsistemas y la descripción de sus elementos constructivos. Incluyen las referencias que codifican cada elemento, por lo que es necesario utilizarlas en cualquier análisis estadístico posterior.

3.3.1.a- TABLA DE SUBSISTEMAS: contiene los subsistemas preestablecidos: Infraestructura, estructura, cubierta, cerramiento exterior, instalación de agua, de electricidad, de gas, de saneamiento, de calefacción, de ventilación, de audiovisuales, protección contra incendios y elementos comunes interiores.

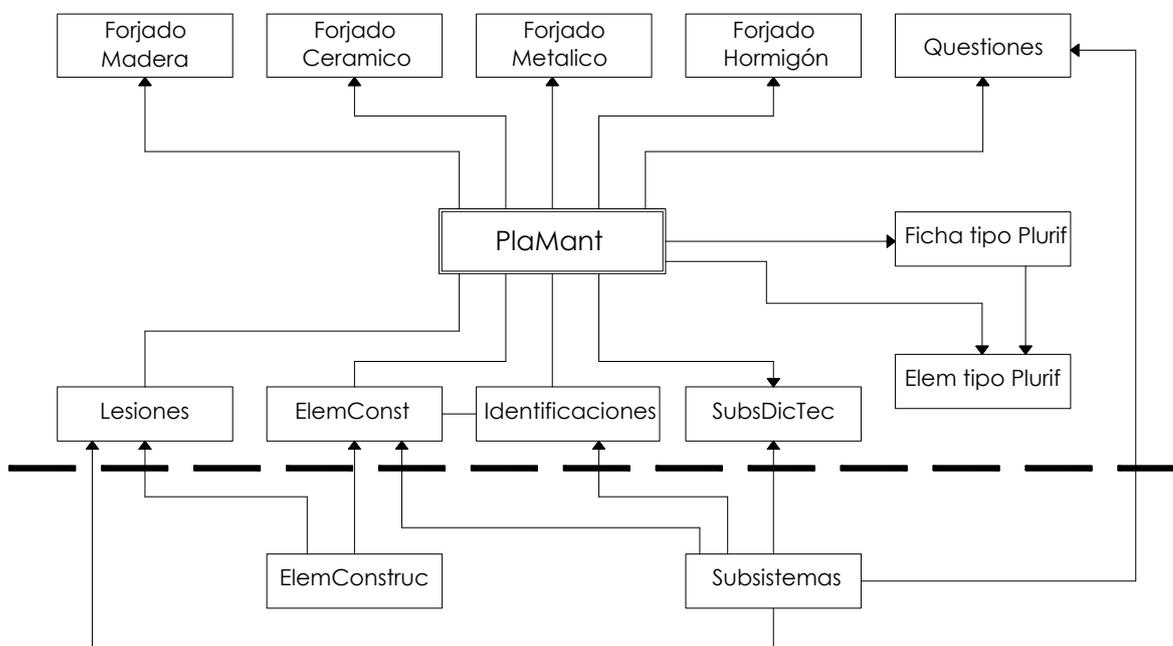
SB_Código:	identificador de los elementos.
SB_Orden:	campo que define el orden de aparición de los elementos en cuanto se listan por impresora o se muestran por pantalla.
SB_Descripción:	referencia que define el nombre del subsistema.
SB_TxtManUs:	campo que contiene un archivo en formato RTF, que se utiliza para generar los documentos del manual de uso y mantenimiento de los dictámenes técnicos.

3.3.1.b - TABLA DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS: contiene los diferentes elementos constructivos preestablecidos. Esta tabla define la estructuración de los elementos, es decir, qué nivel tiene cada elemento, de qué elemento "cuelga" dentro de la estructura del programa, y a qué subsistema pertenece.

EC_Código:	identificador del elemento constructivo.
EC_Descripción:	referencia del nombre del elemento.
EC_Nivel:	indica el nivel de la estructura donde se encuentra la variable. Una variable que no depende de ninguna otra es de nivel 1; sus descendientes son de nivel 2; las siguientes de nivel 3, y así sucesivamente.
EC_Orden:	campo que se utiliza para establecer el orden de aparición entre variables dentro del mismo nivel.
EC_Subsistema:	referencia que indica a qué subsistema constructivo corresponde el elemento.
EC_Padre:	indica qué elemento es el padre o rango superior de la variable. Los elementos de nivel 1, que no tienen padre, se codifican con un '0'.

### 3.3.2 – ESTRUCTURA Y VARIABLES DE LA BASE DE DATOS - Ctr.

El esquema entidad-relación de la base de datos es la siguiente:



La parte punteada corresponde a las relaciones con la base de datos explicada en el apartado anterior (BeDeCe).

3.3.2.a - TABLA PlaMant: contiene los datos con la información general del informe: identificación, localización, año de construcción, tipo de propiedad, datos del contacto, fecha de la visita y características generales globales.

PM_Código:	código de identificación del expediente. Es facilitado por la CAT de forma previa y consecutiva de 001 a 746 con el prefijo de la provincia.
PM_Dirección:	Dirección del edificio.
PM_Municipio:	Ayuntamiento del edificio.
PM_CP:	Código Postal del edificio.
PM_Comarca:	Parroquia/comarca del edificio.
PM_Provincia:	Provincia del edificio.
PM_AñoConst:	Año de construcción del edificio.
PM_DVisita:	Fecha de la visita al edificio para toma de datos.
PM_DRedac:	Fecha de redacción del dictamen.
PM_TipoProp:	Tipo de propiedad: Comunidad (0), Horizontal (1) o Vertical (2).

3.3.2.b - TABLA FichaTipoPlurif: contiene todas las variables relativas a la ficha de características tipológicas del edificio inspeccionado.

FTP_Código:	Clave de identificación interna de la aplicación.
FTP_DT Cód:	Código del dictamen al cual pertenece la ficha.
FTP_DT_Tipología:	Tipo de bloque: aislado (0), entre medianeras(1).
FTP_DT_Configurac:	Descripción de la configuración del edificio.
FTP_DT_AIPTipo:	Altura de la planta tipo de viviendas.
FTP_DT_VivPSot:	Número de viviendas en la planta sótano.
FTP_DT_VivPBaja:	Número de viviendas en la planta baja.
FTP_DT_VivPTipo:	Número de viviendas en la planta tipo.
FTP_DT_VivPBCub:	Número de viviendas en la planta bajo cubierta.
FTP_DT_TotPlantas:	Número total de plantas que componen el edificio.
FTP_DT_TotHabitac:	Número total de viviendas que componen el edificio.
FTP_DT_NumLocVis:	Número de locales visitados.
FTP_DT_NumHabVis:	Número de viviendas visitadas.
FTP_DT_PlaVis:	Número de plantas visitadas.
FTP_DT_RelLocals:	Relación pormenorizada de locales visitados.
FTP_DT_RelHabitac:	Relación pormenorizada de viviendas visitadas.

3.3.2.c - TABLA ElemTipoPlurif: contiene las variables relativas a descripciones y características de las viviendas que forman el edificio inspeccionado.

ETP_Codi:	Clave de identificación interna de la aplicación.
ETP_Pla:	Código del dictamen al cual pertenece el elemento.
ETP_Ficha:	Código de la ficha a la cual pertenece el elemento.
ETP_NumFila:	Número de fila por pantalla o impresora.
ETP_Escala:	Identificación de la escalera.
ETP_LocCom:	Número de locales comerciales.
ETP_PlazasAparc:	Número de plazas de aparcamiento.
ETP_HabTipo:	Descripción del tipo de la vivienda.
ETP_NombreViv:	Número de viviendas tipo.
ETP_NombrePiezas:	Descripción de la composición de la vivienda tipo.
ETP_SupUtilAprox:	Superficie útil aproximada de cada vivienda.
ETP_TotalSupUtil:	Total superficie (Nº viviendas x Superficie útil).

3.3.2.d - TABLA Lesiones: cada elemento constructivo de una serie puede tener una o varias fichas de lesiones. Cada una de estas fichas contiene información con variables tabuladas en formato de texto, numérico y/o alfanumérico para poder hacer estadísticas. Se exigió que esta tabla fuese ampliada y/o modificada en la versión DicTec-G desde la aplicación original DicTec.

LE_Cod Interno:	Clave de identificación interna de la aplicación.
LE_Pla:	Código del dictamen al cual pertenece la lesión
LE_Subistema:	Código del subsistema al cual está asociada la lesión.
LE_ElemConst:	Código del elemento constructivo asociado a la lesión.
LE_Localización:	Localización de la lesión por elemento: viga (0) voladizo (1), forjado (2), pilar (3), muro (4), cimiento (5).
LE_TabDescrip:	Sintomatología: fisuras y grietas (0), roturas (1), deformación excesiva (2), manchas y eflorescencias(3), desprendimiento o disgregación (4), carbonatación (5), corrosión de armaduras (6), inestabilidad (7) y hundimiento (8).
LE_TabCausas:	Causa de la lesión: asiento diferencial (0), ataque químico – recubrimiento insuficiente (1), cuantía insuficiente o armado incorrecto (2), efectos térmicos (3), empuje del terreno (4), encofrado u hormigonado defectuoso (5), humedades (6), sección insuficiente (7), vibraciones (8).
LE_Origen:	Origen de la lesión: efectos del subsuelo (1), defecto de proyecto(2), defecto de ejecución (3), defecto de material (4), falta de mantenimiento (5).
LE_OrigenPro:	Origen de defectos de proyecto: acciones (1), sección insuficiente (2), diseño incorrecto (3), error de cálculo o armado (4), incumplimiento de normativa (5).
LE_OrigenEjec:	Origen de defectos de ejecución: error hormigonado o encofrado (1), error de compactado o curado(2), disposición constructiva incorrecta (3), incumplimiento de normativa (4).
LE_Calificación:	Calificación de la gravedad: leve (0), importante (1), grave (2).
LE_Urgencia:	Urgencia de la reparación: diferida (1), urgente (2), inmediata (3).
LE_Comentarios :	Comentarios del usuario a propósito de la lesión.
LE_Recomend:	Recomendaciones técnicas.
LE_Medición:	Medición del elemento.

- Las tablas que se enumeran a continuación se definen por su vinculación directa con la base de datos, pero no entramos a desglosar sus variables dado que no intervienen en el análisis estadístico de esta tesis:

3.3.2.e - TABLA SubsDicTec: Cuando el usuario da de alta una identificación de una parte del edificio, la aplicación crea automáticamente una ficha general del subsistema superior al que pertenece, en la cual se guardan los datos generales comunes a todas las identificaciones del mismo subsistema.

3.3.2.f - TABLA Identificaciones: contiene las descripciones constructivas del edificio y su estado de conservación.

3.3.2.g - TABLA ElemConst: contiene la descripción constructiva completa de cada edificio. Esta tabla tiene relación directa con la tabla de elementos constructivos del BEDECE.

3.3.2.h - TABLA Cuestiones: puede contener o no un conjunto de preguntas planteadas con sus respuestas. Las preguntas dependen de los subsistemas y no de las identificaciones. Se asocia pregunta con respuesta en cada caso.

3.3.2.i - TABLAS Forjado Cerámico/Hormigón/Madera/Metálico: Estas tablas, importadas de la aplicación original DicTec, contendrían información de los defectos encontrados en las catas y los ensayos efectuados in situ.

En los acuerdos previos del Convenio IGVS-COAG se tomó la determinación de que los arquitectos inspectores no realizasen a priori este tipo de operaciones durante la inspección ordinaria del edificio. En caso de consulta, la decisión quedaba supeditada a mi asesoramiento como supervisor de temas estructurales.

#### **4.- ANALISIS DE LAS VARIABLES E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.**

4.1- ANALISIS DE LA PATOLOGIA GLOBAL DEL EDIFICIO.

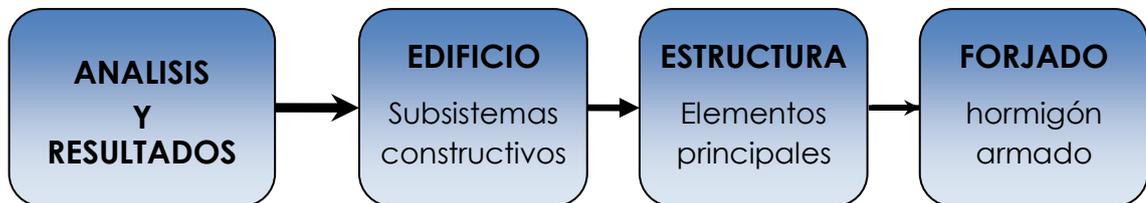
4.2- ANALISIS DE LA PATOLOGIA GENERAL DE ESTRUCTURA.

4.3- ANALISIS DE LA PATOLOGIA PARTICULAR DEL FORJADO.

## 4. – ANALISIS Y VALORACION DE RESULTADOS.

Como se explicó en el capítulo primero, determinada la población inicial podemos considerar la muestra analizada (746 edificios de viviendas de promoción pública en Galicia, con estructura de hormigón armado) suficientemente representativa y aleatoria (se desconocía de antemano el estado del edificio en la mayor parte de los casos) con un grado de fiabilidad del orden del 96%.

Partiendo de esta consideración general, los resultados de esta Tesis se infieren tras un proceso en tres niveles consecutivos dentro de la patología:



4.1) Estudio estadístico global sobre patología en el parque inmobiliario de referencia, analizando las lesiones de los 746 edificios inspeccionados por subsistemas constructivos, donde se demostrará que la estructura es el más afectado de todos ellos.

4.2) Estudio estadístico generalizado, en continuidad al trabajo anterior, sobre la casuística de los 310 (sobre los 746) edificios lesionados en el ámbito de la estructura de hormigón armado, demostrándose que el forjado es el elemento más vulnerable.

4.3) Estudio estadístico particularizado, en continuidad al trabajo anterior, sobre la casuística de los 146 (sobre los 746) edificios lesionados en el ámbito de los forjados de hormigón.

### EXPLICACION PREVIA AL ANALISIS ESTADISTICO CORREGIDO:

El presente estudio estadístico se basa en el manejo de una amplia base de datos original, la cual ha sido explicada con detalle en el Capítulo 3, obtenida durante el trabajo de campo previo realizado por los arquitectos inspectores.

Estos técnicos fueron seleccionados inicialmente por la CAT entre más de doscientos candidatos, en función de su experiencia en el campo específico de la redacción de informes de inspección y la patología de edificios; es más, se organizaron cursos de formación específicos para ellos.

El resultado del trabajo realizado por estos arquitectos ha sido altamente satisfactorio. Sin embargo, a pesar de su amplia experiencia en patología genérica de edificación, no todos ellos se podían considerar especialistas en el ámbito concreto de la patología estructural. De ahí que ciertos informes y, en concreto, ciertas lesiones íntimamente vinculadas al objetivo de esta tesis, han tenido que ser revisadas.

El objetivo no era otro que clarificar cierta ambigüedad (detectada en la fase de reflexión una vez finalizado el proceso de inspección) a la hora de atribuir una lesión a uno u otro subsistema constructivo. Dicha imprecisión se basaba en el equívoco entre sintomatología detectada (lugar) y el origen real de la misma (causa).

Como ejemplo basta citar el típico caso de una fisuración detectada en la tabiquería interior o en el pavimento, causada por una deformación excesiva del forjado. Esta lesión debería haber sido asignada al Subsistema *Estructura/Forjados/deformación* pero en algún caso se asignó, equívocamente, al Subsistema *Acabados Interiores /tabiquería/fisuras*.

Por otro lado, y para garantizar la homogeneidad entre los equipos de trabajo, en cuanto a la profundidad, organización y sistematización de los datos, se utilizó la aplicación informática DicTec la cual, si bien en términos generales era muy eficaz, en cuestiones puntuales tenía alguna limitación, como todas las aplicaciones informáticas.

Con respecto al ejemplo anterior, al marcar la casilla correspondiente a Subsistema Acabados Interiores, se bloqueaba (y desaparecía de la pantalla) el Subsistema Estructura y todos los submenús vinculados, con lo cual, a lo largo del proceso de introducción de datos, el usuario podía desviarse del camino correcto. No obstante, en la inmensa mayoría de los casos, los inspectores introducían correctamente un texto aclaratorio a la lesión en el apartado Comentarios; el problema es que este texto, por su propio formato,

no se vinculaba a la base de datos. En definitiva, aunque el informe emitido era perfectamente válido, en la base de datos quedaba recogido incorrectamente.

Por todo lo anterior, y puesto que el trabajo de inspección cristalizó en 746 informes, cabe decir que la revisión individualizada de los mismos supuso un arduo trabajo de casi un año de duración y que a lo largo de la tesis puede no reflejarse adecuadamente.

Finalmente indicar que lo anterior ha conducido a plantear una doble estadística; la inicial, tomada directamente de la base de datos original, y otra estadística corregida, en base a esta revisión manual y personal llevada a cabo.

Los criterios empleados, en la estadística corregida, para reasignar al Subsistema Estructura aquellas lesiones erróneamente atribuidas a los Subsistemas Acabados Interiores y Espacios Comunes fueron básicamente:

- Causa probada: debía aparecer en el informe emitido una aclaración expresa (en forma de texto, dibujo o gráfico) al origen del problema. Se destacaban:
  - Deformación excesiva
  - Flexión excesiva
  - Canto insuficiente
  - Falta de rigidez
  
- Sintomatología relatada: adjuntada en forma de foto o esquema:
  - Levantamiento, fisuración o rotura del pavimento.
  - Rotura, fisuración o desprendimiento de los falsos techos.
  - Fisuración de tabiquerías interiores.

Lamentablemente y con el transcurrir del presente trabajo, nos hemos dado cuenta de que se podía haber aprovechado la revisión de los 746 informes para profundizar en otros aspectos igualmente relevantes, como el hecho de intentar discernir las lesiones asociadas a las vigas planas o de canto, las asociadas a los pilares expuestos o protegidos, la interrelación entre fisuración de fachadas y la flexibilidad excesiva de los voladizos de las plantas inferiores, etc.

En cualquier caso, el estudio estadístico no está cerrado, por lo siempre existe la posibilidad de darle continuidad incluyendo estos extremos.

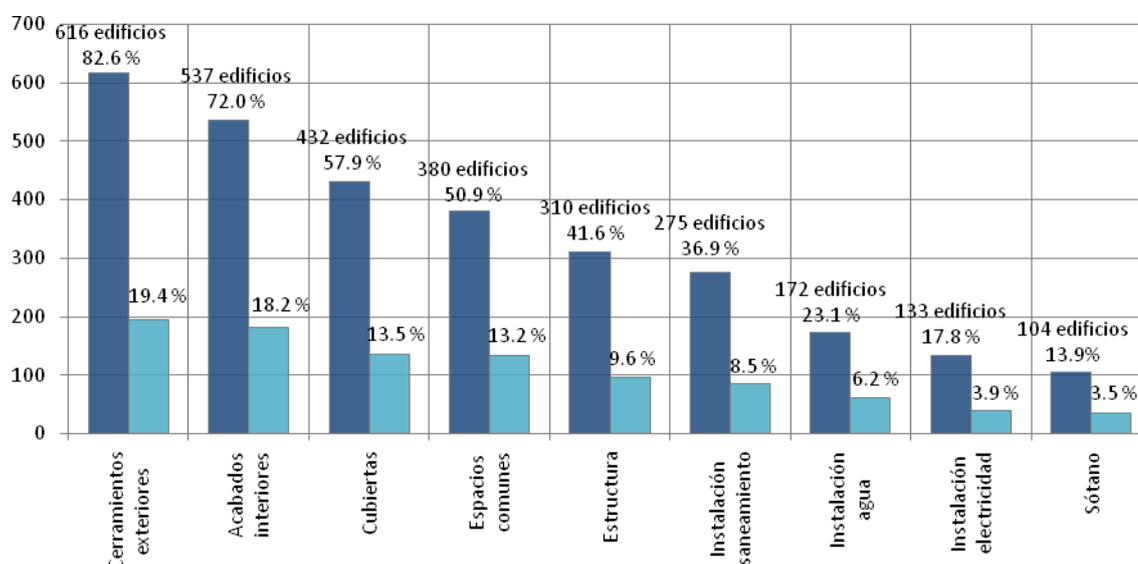
## 4.1 – ANÁLISIS DE LA PATOLOGÍA GLOBAL DEL EDIFICIO.

**ANÁLISIS 4.1:** Si se observa los resultados globales de la base de datos ordenando los subsistemas constructivos, tanto por el número de edificios afectados (sobre el muestreo de 746 individuos) como por el porcentaje de las lesiones (sobre 5640 totales), se arrojan los resultados siguientes:

Tabla 4.1a		
EDIFICIOS AFECTADOS POR SUBSISTEMAS (muestra: 746 edificios)		
SUBSISTEMA CONSTRUCTIVO	Nº	%
Cerramientos exteriores	616	82,6
Acabados interiores	537	72,0
Cubiertas	432	57,9
Espacios comunes	380	50,9
Estructura	310	41,6
Instalación de saneamiento	275	36,9
Instalación de agua	172	23,1
Instalación de electricidad	133	17,8
Sótano	104	13,9
Instalación de ventilación	53	7,1
Instalación de audiovisuales	23	3,1
Instalación de elevación	20	2,7
Instalación de gas	19	2,5
Instalación contra incendios	7	0,9
Instalación de calefacción	5	0,7

Tabla 4.1b	
PORCENTAJE DE LESIONES POR SUBSISTEMAS (muestra: 5640 lesiones)	
SUBSISTEMA CONSTRUCTIVO	%
Cerramientos exteriores	19,4
Acabados interiores	18,2
Cubiertas	13,5
Espacios comunes	13,2
Estructura	9,6
Instalación de saneamiento	8,5
Instalación de agua	6,2
Instalación de electricidad	3,9
Sótano	3,5
Instalación de ventilación	1,4
Instalación de audiovisuales	1,0
Instalación de elevación	0,7
Instalación de gas	0,5
Instalación contra incendios	0,3
Instalación de calefacción	0,1

NOTA: Ambas tablas ya se recogían en el Informe Final del Convenio IGVS-COAG



CERRAMIENTOS EXTERIORES: a la vista de los resultados estadísticos anteriores parece obvio que este subsistema constructivo se destaca con la mayor incidencia de patología con un 19,4% de lesiones (sobre el total de 5640) y 616 edificios afectados (sobre un total de 746).

La tipología de lesiones en fachada más comunes han sido las relativas a la degradación de las pinturas del revestimiento junto con el desprendimiento de éste en el caso de plaquetas cerámicas. Cabe reseñar que las fachadas de fábrica o de aplacados de piedra inspeccionadas presentaban un índice de daños realmente anecdótico.

Otra tipología de lesión muy extendida en toda la comunidad autónoma ha sido el problema de las condensaciones interiores en los paramentos en contacto con la fachada debido a la escasez o inexistencia del aislamiento térmico. Se muestran a modo de ejemplo fotos de estas lesiones recogidas durante el proceso de inspección:



Una cuestión a resaltar es la habitual aparición de fisuraciones de los cerramientos de fachada en sus plantas inferiores a causa de la flexibilidad excesiva de los voladizos (por efecto de los arcos de descarga). Si bien la experiencia durante la inspección lo ha confirmado en los edificios generalmente de más de cinco o seis plantas, a nivel estadístico no podemos evaluar su incidencia, por cuanto los campos de la base de datos no han resultado comparables.

No obstante a pesar de lo anterior, hay que reconocer que, tras la revisión pormenorizada de los informes emitidos por los inspectores, el análisis de los daños y las lesiones computadas al subsistema Cerramientos Exteriores ha sido, en términos generales, muy correcta.

ACABADOS INTERIORES: sería el segundo subsistema constructivo con mayor acumulación de daños con un 18,2% de lesiones (sobre el total de 5640) y 537 edificios afectados (sobre un total de 746). Ahora bien, los resultados asignados a este subsistema requieren una reflexión más profunda.

Según los criterios de inspección prefijados por el convenio IGVS-COAG, los daños principales que se tenían que asignar a este subsistema eran:

- El levantamiento, fisuración o rotura del pavimento.
- La rotura, fisuración o desprendimiento de los falsos techos.
- La fisuración de tabiquerías interiores.



La primera fotografía corresponde a una lesión clasificada en su momento por los inspectores como fisuración de pavimentos (computada en el subsistema Acabados Interiores); sin embargo, tras la revisión pormenorizada del informe, se confirmó que se trataba inequívocamente de un caso de deformación excesiva del forjado de un local de entreplanta, fruto de la acumulación de arcos de descarga.

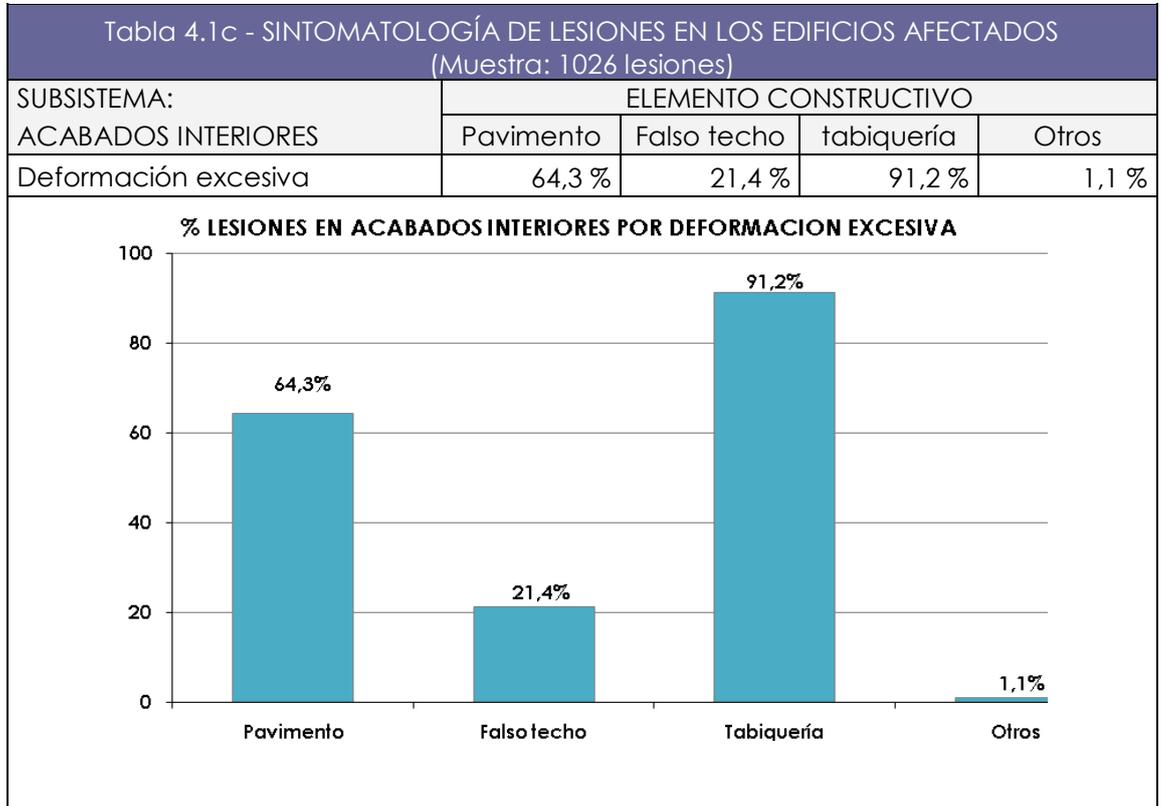
La segunda fotografía muestra una lesión importante en el techo de un sótano destinado a parking y clasificada incorrectamente como simple rotura de falsos techos (y computada en el subsistema Acabados Interiores). Tras una revisión rigurosa del informe, se concluyó que debería haber sido clasificada como deformación excesiva del forjado ante una carga local de una jardinera de grandes dimensiones y computada por tanto en el subsistema Forjados.

En la tercera fotografía, se observa una lesión típica clasificada como fisuración de tabiquerías y computada en el subsistema de Acabados Interiores; nuevamente, tras la revisión del informe realizado por los inspectores, se pudo confirmar que se trataba de un daño originado por la de deformación excesiva del forjado, y que debería haber sido computada en el subsistema Forjados.

Al igual que en los ejemplos anteriores, se ha podido constatar reiteradamente en numerosos informes, que el origen a este tipo de sintomatología sin ningún

género de duda ha sido la deformación excesiva del forjado y, como causa principal, el canto insuficiente del mismo.

Se muestra la discriminación de daños originalmente atribuidos al subsistema Acabados Interiores:



Tras la revisión de los informes y a la vista de los datos estadísticos anteriores se concluye que, desde el punto de vista de la relación causa-efecto, la patología asignada al subsistema Acabados Interiores está íntimamente vinculada al forjado. Desde esta nueva perspectiva se alteran significativamente los resultados globales del estudio mostrados al principio del capítulo en las tablas 4.1a y 4.1b.

Si bien estos resultados no figuraban en el informe inicial que le fue facilitado al IGVS consideramos que, tras un riguroso estudio, son de alta relevancia para la presente tesis. Al final del presente análisis, se aporta la correspondiente estadística corregida.

- CUBIERTAS: Sería el tercer subsistema del edificio con mayor incidencia, acumulando un 13.5% de lesiones (sobre el total de 5640) y un montante de 432 edificios afectados (sobre un total de 746).

Partiendo de la evidencia de que la mayoría de los edificios gallegos presentan acusadas cubiertas inclinadas (Tabla 4.1d) se deja constancia de que, en numerosos casos, la inspección de las mismas pudo haber sido somera o parcial por cuestiones de seguridad. No obstante, los daños que se han indicado anteriormente son inequívocos.

Tabla 4.1d – TIPOLOGIA DE CUBIERTA EN LOS EDIFICIOS INSPECCIONADOS (Muestra: 746 edificios)		
TIPOLOGÍA PREFERENTE	Edificios	
	Número	Porcentaje
Cubierta plana	97	13,04
Faldones inclinados	649	89,96

NOTA: Tabla recogida en el Informe Final del Convenio IGVS-COAG.

Entre las lesiones a destacar, sin ningún género de dudas, las filtraciones y humedades derivadas del desplazamiento de las piezas de cobertura, en el caso de tejas, y de la rotura en el caso de las planchas de fibrocemento.

También se destacan las lesiones por condensación en la cara interior de los faldones de cubierta, por escasez o inexistencia de aislamiento térmico.

Dejar constancia de que la base de datos no ha permitido desglosar estadísticamente estas lesiones. En cualquier caso, a pesar de que la patología de cubierta no es el objeto de esta tesis, hubiera arrojado unos datos interesantes sobre la misma.

Se muestran las siguientes fotografías, tomadas durante el proceso de inspección, a modo de ejemplo:



Cabe afirmar que, tras la revisión de los informes emitidos por los inspectores, el análisis de los daños y las lesiones computadas al subsistema Cubiertas ha sido, en términos generales, muy correcta.

- ESPACIOS COMUNES: El número de lesiones acumuladas supone un 13,2% (sobre las 5640 lesiones) y 380 edificios afectados (sobre un total de 746). Ahora bien, los resultados asignados a este subsistema también requieren una reflexión más profunda.

Según los criterios de inspección fijados por el IGVS, había que englobar en este subsistema al portal, los pasillos distribuidores y las escaleras (se excluía el sótano y los trasteros). Además, los principales aspectos que se tenían que inspeccionar en este subsistema eran:

- Fisuración o rotura del pavimento, en especial el peldañado.
- La rotura, fisuración o desprendimiento de los falsos techos.
- La fisuración de tabiquerías interiores.
- Otros: rotura o inestabilidad del pasamanos, pintura, etc.

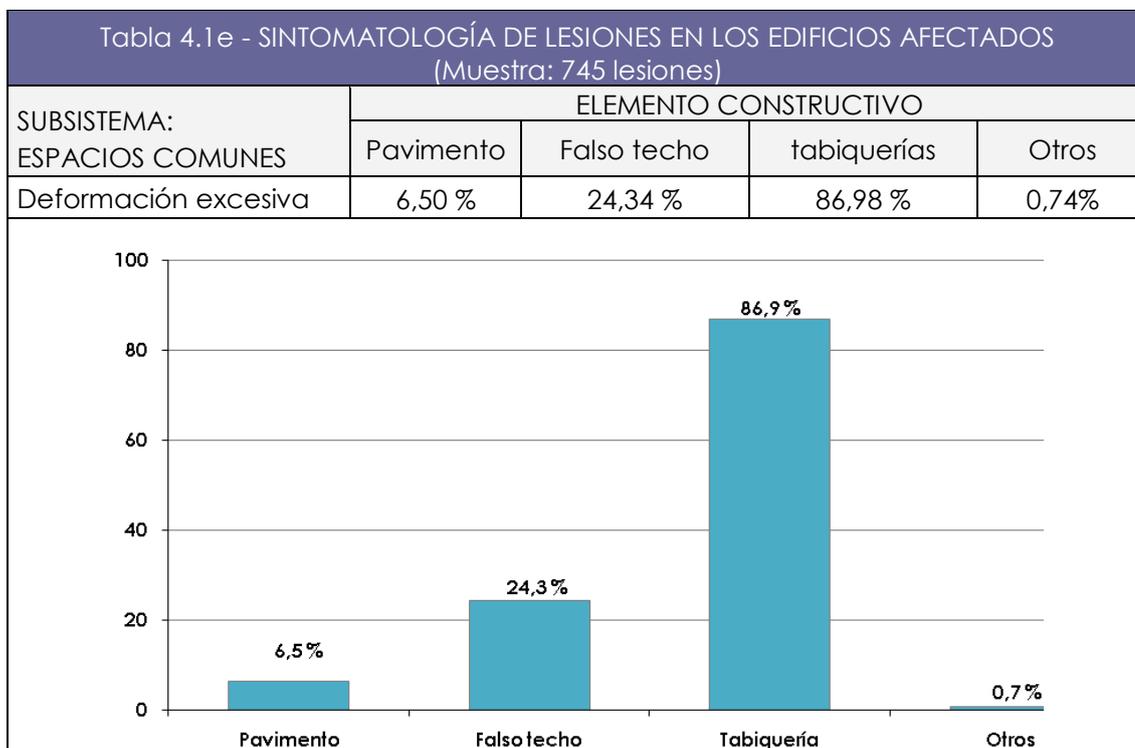


La primera fotografía corresponde a una lesión clasificada en su momento por los inspectores como fisuración del peldañado (computada en el subsistema Espacios Comunes); sin embargo, tras la revisión pormenorizada del informe, se considera que se trata inequívocamente de un caso de deformación excesiva del forjado sobre el que estaba directamente apoyada la escalera.

La segunda foto corresponde a una lesión clasificada en el informe correspondiente como desprendimiento del falso techo (computada en el subsistema Espacios Comunes). Tras una revisión el informe, se concluye que debería haber sido clasificada como deformación excesiva del forjado que soporta la fábrica, la cual arrastra consigo la cornisa de escayola, y computada por tanto en el subsistema Forjados.

En la tercera fotografía, se observa una lesión clasificada como fisuración de tabiquería de la caja de escalera (computada en el subsistema Espacios Comunes). En este caso, tras la revisión cuidadosa del informe realizado por los inspectores, se confirmó que se trataba de un daño originado por la deformación excesiva del forjado portante, y que debería haber sido computada en el subsistema Forjados.

Por lo tanto, como se ha podido constatar frecuentemente en las inspecciones realizadas el origen de la sintomatología común a estos daños ha sido la deformación excesiva y, como causa principal asignada, el canto insuficiente del forjado o de las vigas que recogían los cerramientos de la caja de escaleras y/o de los pasillos distribuidores. La discriminación de daños reales y atribuidos originalmente al Subsistema Espacios Comunes es la que se indica:



Así pues, tras la revisión de los informes y a la vista de los datos estadísticos anteriores se concluye que, desde el punto de vista de la relación causa-efecto, la patología asignada al subsistema Espacios Comunes está íntimamente vinculada al forjado. Desde esta perspectiva, al igual que en el caso del subsistema Acabados Interiores, también se alteran significativamente los resultados globales del estudio mostrados al principio del capítulo en las tablas 4.1a y 4.1b.

Si bien los resultados de este análisis no figuraban en el informe inicial que le fue facilitado al IGVS se considera que, tras un riguroso estudio, son de alta relevancia para la presente tesis. Al final del presente análisis, se aporta la estadística corregida.

- ESTRUCTURA: Acumulan un 9,6% de lesiones (sobre el total de 5640) y 310 edificios afectados (sobre una muestra de 746). Si bien figura como el cuarto subsistema constructivo en orden de la patología acumulada, a la vista de los análisis y comentarios precedentes, estos datos estadísticos iniciales resultan cuando menos cuestionables; se recogen al final del presente análisis.

Según los criterios de inspección fijados por el IGVS, había que englobar en este subsistema las lesiones directamente detectadas en los elementos estructurales, en las categorías de cimentación, pilares, vigas, forjados y voladizos. Se procede a su análisis detallado en el Capítulo 4.2.

- **INSTALACIÓN DE SANEAMIENTO:** Del grupo de subsistemas relativos a las instalaciones ocuparía el primer puesto con un 8,5% de lesiones (sobre el total de 5640) y 275 edificios afectados (sobre los 746).

El mal estado de las bajantes y canalones, unido a la falta de mantenimiento en los sumideros, limahoyas y cazoletas, ha sido otra constante en la edificación estudiada.



- **INSTALACIÓN DE AGUA:** Ocuparía la segunda plaza en el grupo de las instalaciones. El número de lesiones es de 6,2% (sobre el total de 5640) y 172 edificios afectados (sobre los 746).

El grupo de problemas más comunes se refieren al mal estado de los cuadros generales de contadores.



- **INSTALACIÓN DE ELECTRICIDAD:** El número de lesiones supone un 3,9% (sobre las 5640) y 133 edificios afectados (sobre los 746). El grupo de problemas más reiterados se refieren al mal estado de los cuadros eléctricos y a la escasa seguridad aportada por circuitos, interruptores y elementos de protección.



- **SÓTANO:** el número de lesiones que afectan a este subsistema no tienen una marcada relevancia en el conjunto. El número de lesiones supone un 3,5% (sobre las 5640) y 104 edificios afectados (sobre los 746).

La lesión más común ha sido la filtración de agua del terreno a través de los muros de contención hacia las plantas de garaje, así como la fisuración de las soleras del mismo.



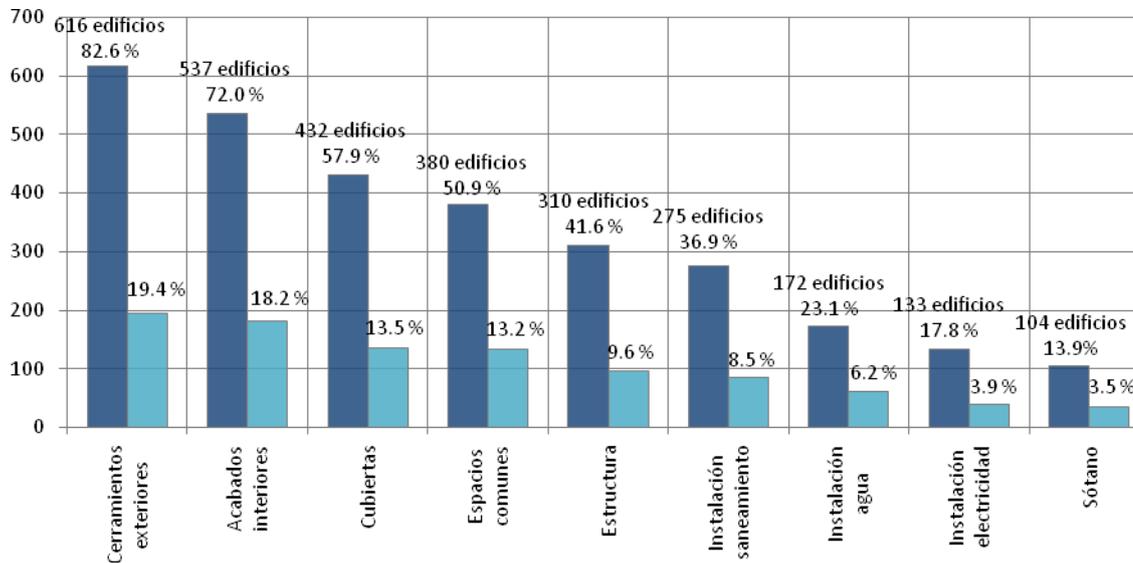
- **INSTALACIÓN DE VENTILACIÓN:** Acumulan un 1,4% de lesiones y 53 edificios afectados. Prácticamente la totalidad de los daños vinculados a este subsistema se refieren al mal estado de las carpinterías exteriores de aluminio, especialmente por la corrosión metálica del anodizado, el descuadre en el caso de las ventanas correderas y por la falta de estanqueidad entre el cerramiento y la carpintería.

Otro problema recogido habitualmente es la ausencia de las rejillas de ventilación de la cocina o tendederos, vinculados a las instalaciones de gas.

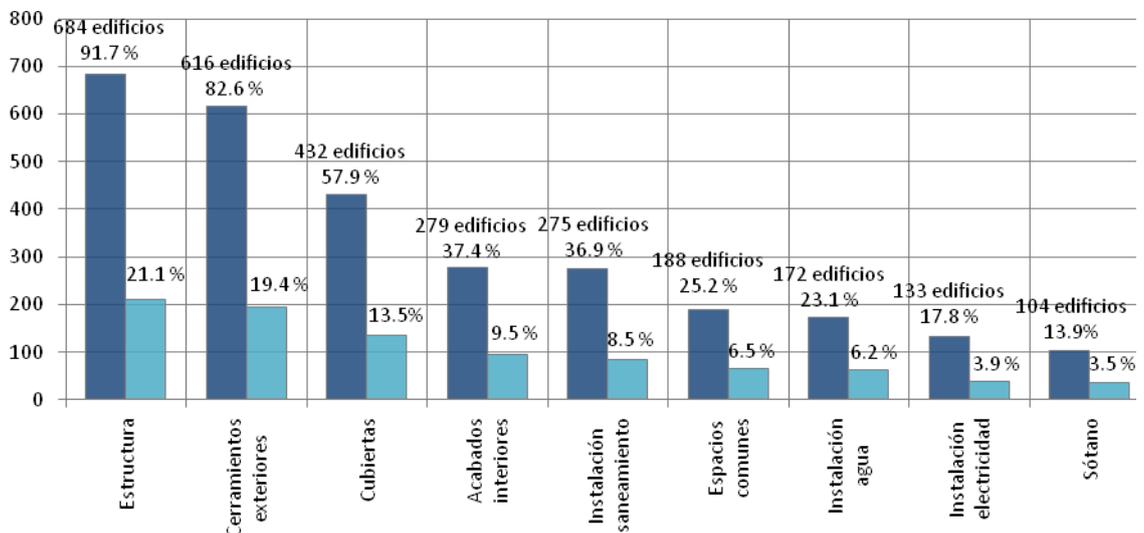


- **OTROS SUBSISTEMAS:** los apartados relativos a elevación, gas, calefacción y protección contra incendios presentan una incidencia inferior al 1%, muy reducida en comparación con los grupos anteriores. Los problemas detectados tenían una relación directa con la escasez de normativa específica en la época de redacción del proyecto, unido a una falta de mantenimiento considerable por parte del usuario.

**RESUMEN:** realizada una aproximación más rigurosa de los daños relativos a cada subsistema constructivo ya no resulta válida la ordenación inicialmente planteada. Recordamos el gráfico inicial (sobre 746 edificios inspeccionados):



Al establecer una Estadística Corregida que incorpora además de los daños propios del subsistema Forjado, los daños vinculados erróneamente a los subsistemas comentados (Acabados Interiores y Espacios Comunes), los resultados definitivos quedarán reordenados de la siguiente forma:

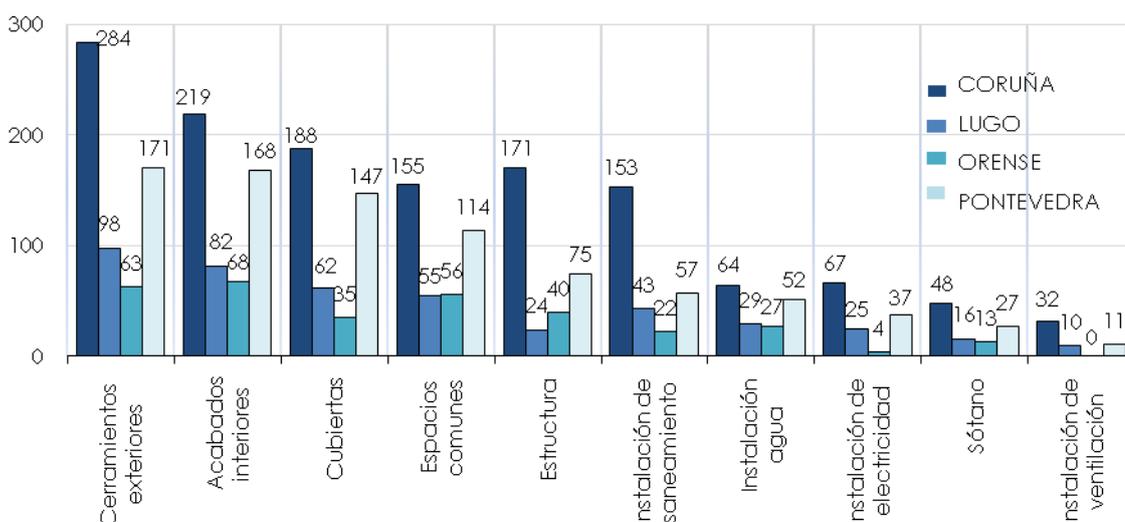


Se puede concluir que, sin lugar a dudas, el Subsistema Estructura se sitúa en primer lugar (seguido de Cerramientos Exteriores y Cubiertas), tanto en el número de edificios afectados como en el porcentaje de lesiones. El resto de subsistemas se distancian de este trío predominante.

Igualmente reseñar que los subsistemas relativos a instalaciones (véase tabla 4.1b) tienen una incidencia relativamente baja en la patología del edificio comparado con la envolvente y la estructura.

**ANÁLISIS 4.2:** En esta tabla se desglosa el número de edificios afectados y el porcentaje de las lesiones detectadas, por subsistemas constructivos y por provincias, con el fin de extraer algunas conclusiones:

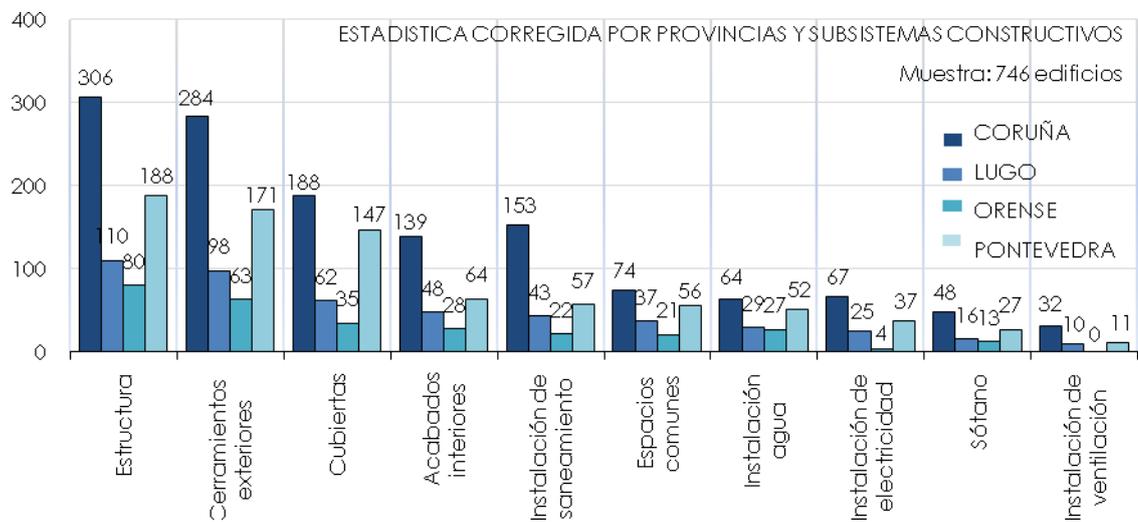
Tabla 4.2								
INCIDENCIA DE EDIFICIOS AFECTADOS Y PORCENTAJE DE SUS LESIONES POR SUBSISTEMAS CONSTRUCTIVOS Y POR PROVINCIAS (muestra: 746 edificios)								
SUBSISTEMA CONSTRUCTIVO	SITUACIÓN GEOGRÁFICA							
	CORUÑA		LUGO		ORENSE		PONTEVEDRA	
	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
Cerramientos exteriores	284	91,32	98	87,50	63	76,83	171	70,95
Acabados interiores	219	70,42	82	73,21	68	82,93	168	69,71
Cubiertas	188	60,45	62	55,36	35	42,68	147	61,00
Espacios comunes	155	49,84	55	49,11	56	68,29	114	47,30
Estructura	171	54,98	24	21,43	40	48,78	75	31,12
Instalación de saneamiento	153	49,20	43	38,39	22	26,83	57	23,65
Instalación de agua	64	20,58	29	25,89	27	32,93	52	21,58
Instalación de electricidad	67	21,54	25	22,32	4	4,88	37	15,35
Sótano	48	15,43	16	14,29	13	15,85	27	11,20
Instalación de ventilación	32	10,29	10	8,93	0	0,00	11	4,56
Instalación de audiovisuales	4	1,29	0	0,00	9	10,98	10	4,15
Instalación de elevación	11	3,54	0	0,00	1	1,22	8	3,73
Instalación de gas	14	4,50	1	0,89	0	0,00	6	2,49
Instalación contra incendios	4	1,29	1	0,89	1	1,22	1	0,41
Instalación de calefacción	2	0,64	1	0,89	0	0,00	2	0,83
TOTAL EDIFICIOS AFECTADOS	311		112		82		241	



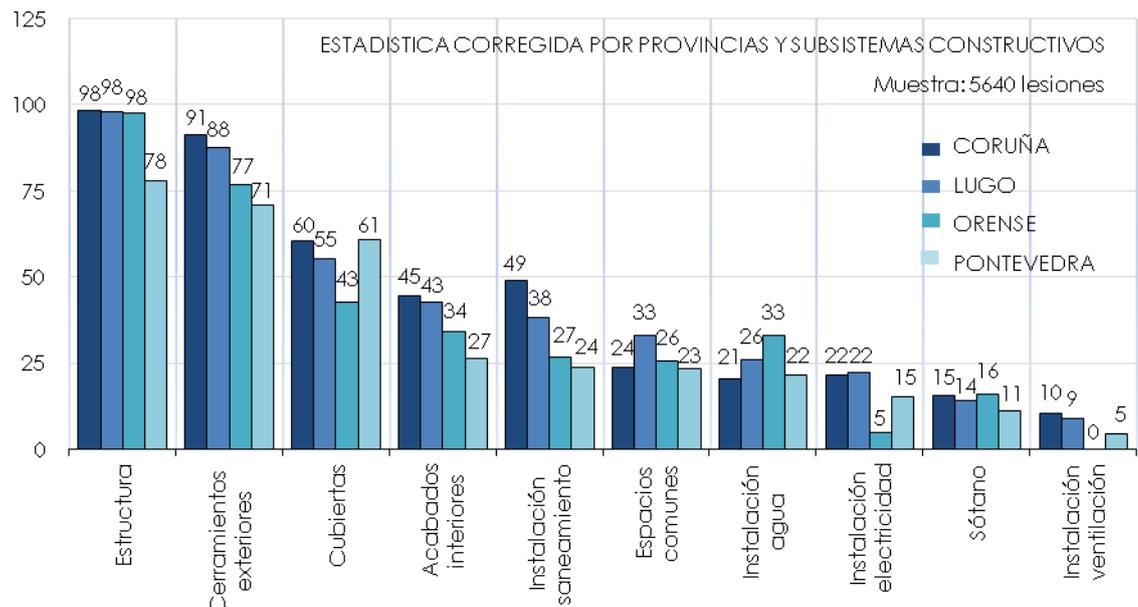
Como se ha explicado anteriormente (ver Análisis 4.1), se han atribuido erróneamente algunas lesiones (en pavimentos, fisuración de tabiquerías y/o falsos techos) causadas por una deformación excesiva del forjado a los subsistemas de Acabados Interiores y Espacios Comunes.

Al establecer la Estadística Corregida que incorpora además de los daños propios del subsistema Forjado, aquellos otros daños vinculados erróneamente a los subsistemas comentados (Acabados Interiores y Espacios Comunes), los resultados definitivos quedarían reordenados de la siguiente forma:

- Según el número de edificios afectados por provincias:



- Según el porcentaje de lesiones por provincias:

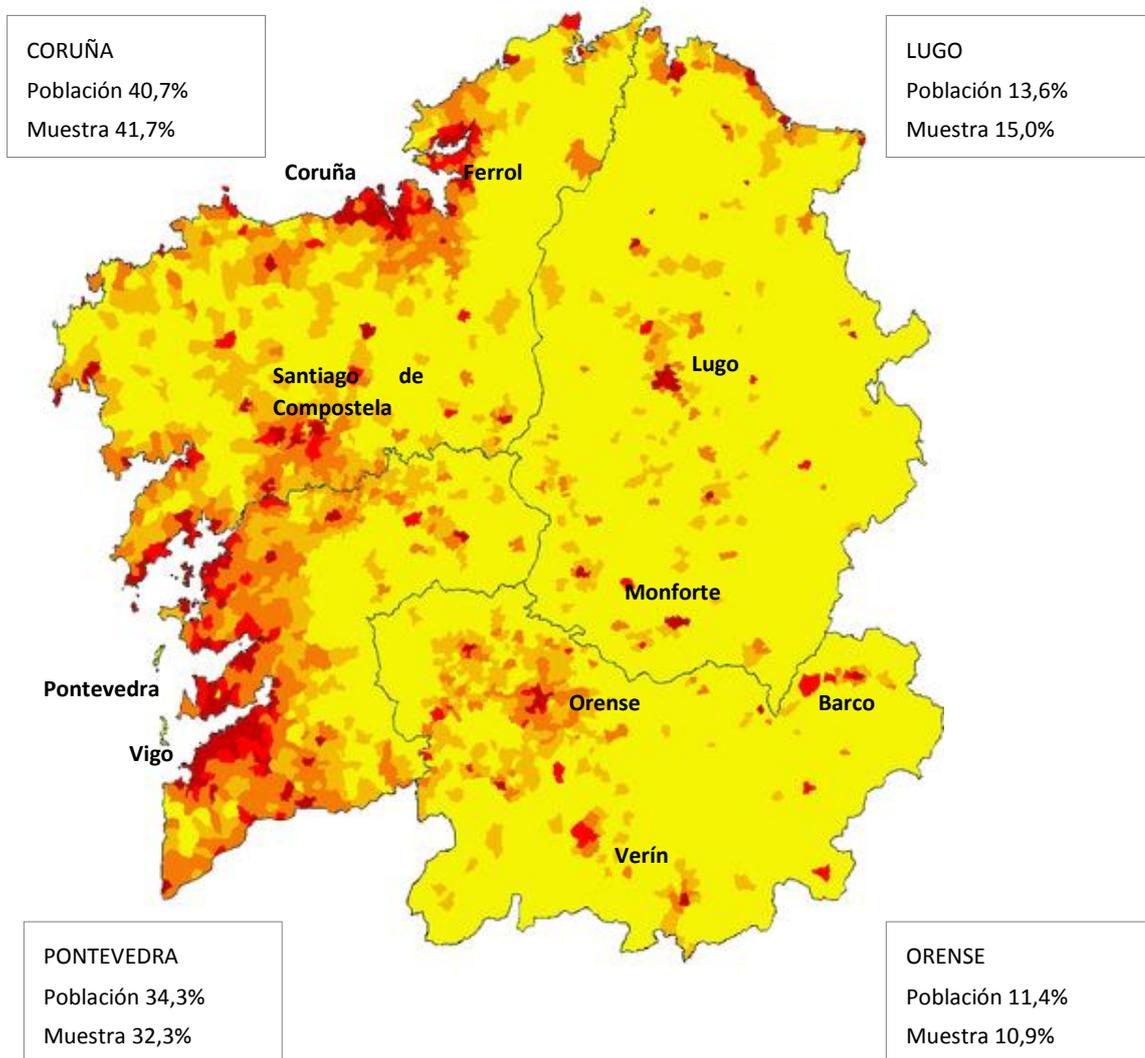


Como concluimos en el análisis anterior, el forjado pasa a ocupar el primer puesto tanto en el número de edificios afectados como en las lesiones acumuladas, seguido por los Cerramientos exteriores y la Cubierta; el resto de subsistemas se distancian claramente de éstos.

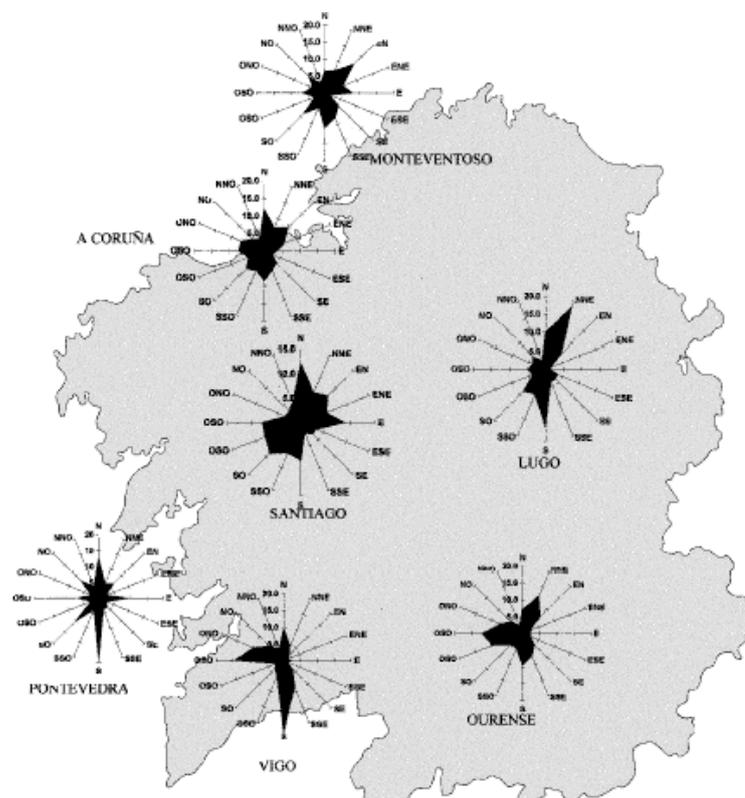
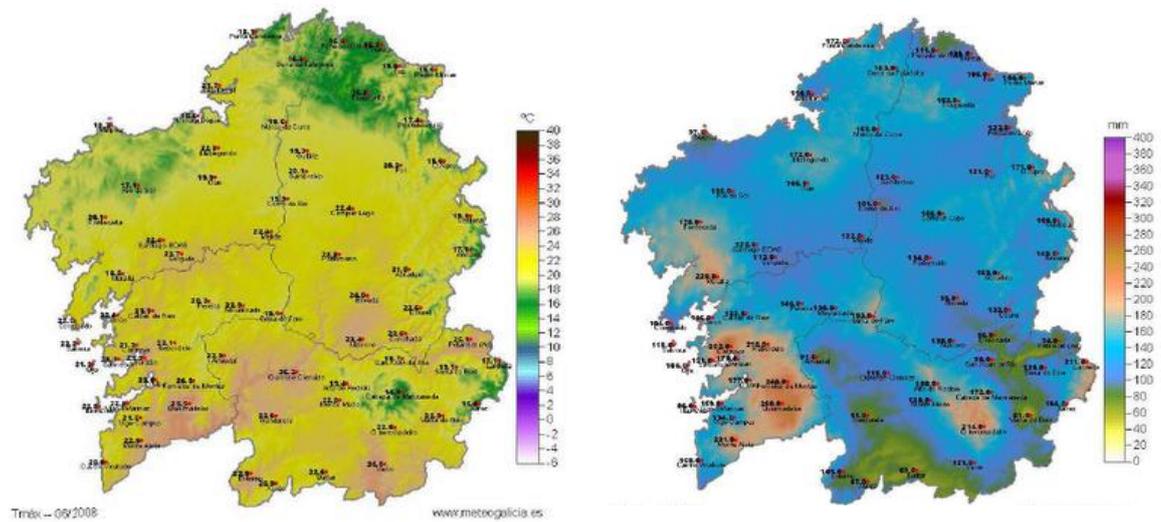
Aunque en los siguientes apartados se procede a desglosar este análisis por provincias, aclarar que la discriminación de los datos originales y los datos corregidos, no resultan relevantes para las conclusiones específicas de este apartado, al mantenerse las tendencias de los valores, por lo que no procede duplicar las estadísticas.

En cambio, en el presente análisis por provincias sí resulta más relevante recordar la distribución geográfica tanto de la muestra estudiada (746 edificios) como la distribución de la población en la comunidad gallega (Ver Capítulo 3.1.3); y ya quedó demostrado que en el presente estudio estadístico obtenemos un grado de fiabilidad del orden del 96%:

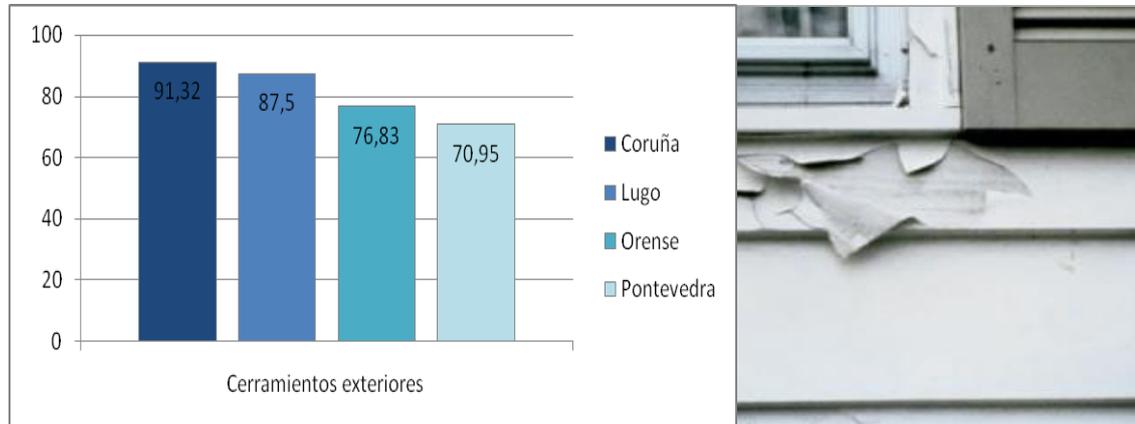
- En la provincia de Coruña (41,7% de la muestra total) las ciudades de Ferrol, Santiago de Compostela y Coruña acumulan el 92% de los edificios.
- En la provincia de Pontevedra (32,3% de la muestra total) las ciudades de Vigo y Pontevedra engloban el 26,28% de los edificios.
- En la provincia de Lugo (15,0% de la muestra total) Lugo y Monforte en el interior recogen el 57% de los edificios; Burela, Cervo, Barreiros y Vivero en la costa norte recogen otro 29% de los edificios.
- En la provincia de Orense (10,9% de la muestra total) excluyendo la capital con un discreto 21% de los edificios estudiados, es donde se observa la mayor dispersión geográfica de la muestra.



En segundo lugar también resulta relevante para los análisis posteriores recordar la temperatura media anual y la pluviometría (Fuente: MeteoGalicia) así como los vientos predominantes medios (Fuente: Asociación eólica de Galicia) en nuestra comunidad:



-CERRAMIENTOS EXTERIORES: los porcentajes de lesiones son más elevados en Coruña (91,32%) y Lugo (87,50%) con respecto a Orense (76,83%) y Pontevedra (70,95%).



Esta singularidad se explica por el empleo generalizado de pinturas de base de cloro-caucho en la zona costera desde mediados de la década de los 70 hasta finales de los ochenta. Estas pinturas se caracterizaban por ser muy impermeables al agua de la lluvia pero, al mismo tiempo, esa característica impedía la salida del vapor de agua del interior de las viviendas hacia el exterior, con lo que se producían condensaciones en forma de bolsas o burbujas en el revestimiento que con el tiempo reventaban, produciéndose posteriormente filtraciones de agua hacia el interior del edificio.

En la zona urbana de Coruña, también han sido significativas numerosas lesiones en los revestimientos a base de plaquetas cerámicas, sistema constructivo local muy extendido en los primeros años setenta, con desprendimiento local de las piezas por fallos del mortero.

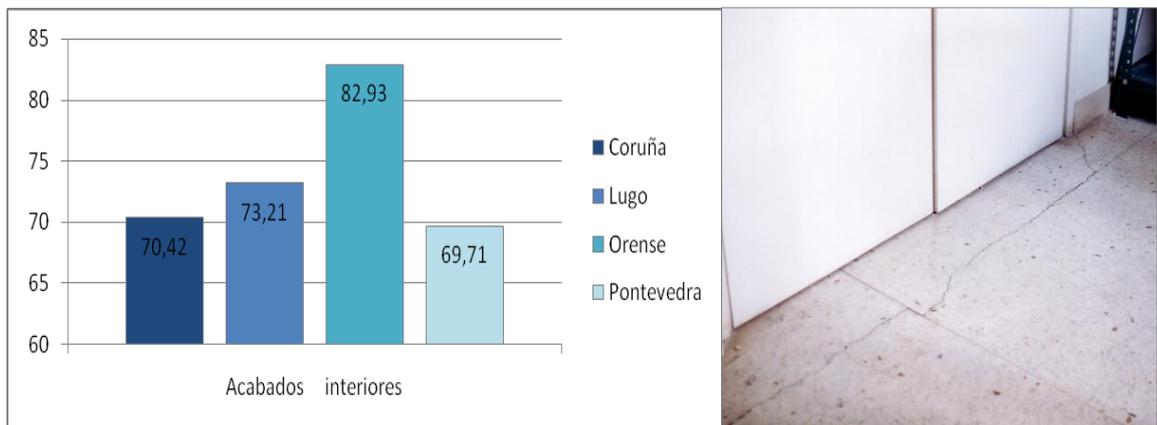
Sin embargo, en las áreas de Orense y Pontevedra, los aplacados de piedra son los revestimientos más utilizados y como éstos presentan un índice de lesiones muy reducido inciden en la reducción porcentual del número de daños en fachada.

Hay que decir que, tras la revisión pormenorizada de los informes emitidos por los inspectores, el análisis de los daños y las lesiones computadas al subsistema Cerramientos Exteriores ha sido, en términos generales, muy correcta.

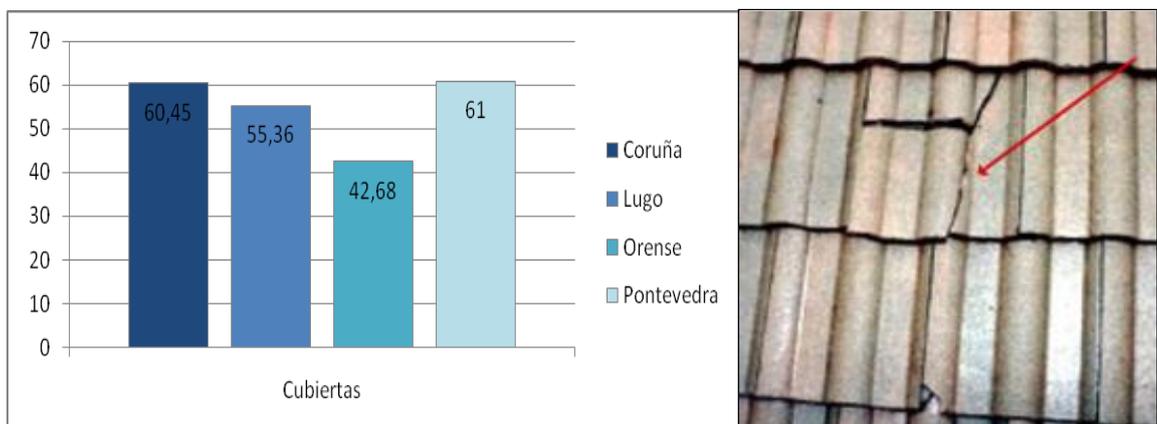
- ACABADOS INTERIORES: los porcentajes de lesiones son similares en Coruña (70,42%), Pontevedra (69,71%) y Lugo (73,21%) pero son ampliamente superados por Orense (82,93%).

Como ya se ha justificado en el análisis anterior la lesión más generalizada ha consistido en la fisuración de tabiquerías y los daños en los pavimentos debido a la deformación excesiva del forjado.

Curiosamente, aunque a priori este problema debería ser independiente de la situación geográfica del edificio, en el caso de Orense presenta un repunte significativo y la explicación no es otra que el empleo generalizado de pavimentos rígidos en los años sesenta y setenta, como la baldosa de terrazo, un material frágil que acusa la fisuración derivada de la deformación del forjado, con suma facilidad.



- CUBIERTAS: la distribución de porcentaje de lesiones es similar en Coruña (60,45%) y Pontevedra (61,00%); en Lugo (55,36%) desciende ligeramente y en Orense (42,68%) la incidencia es relativamente más baja.



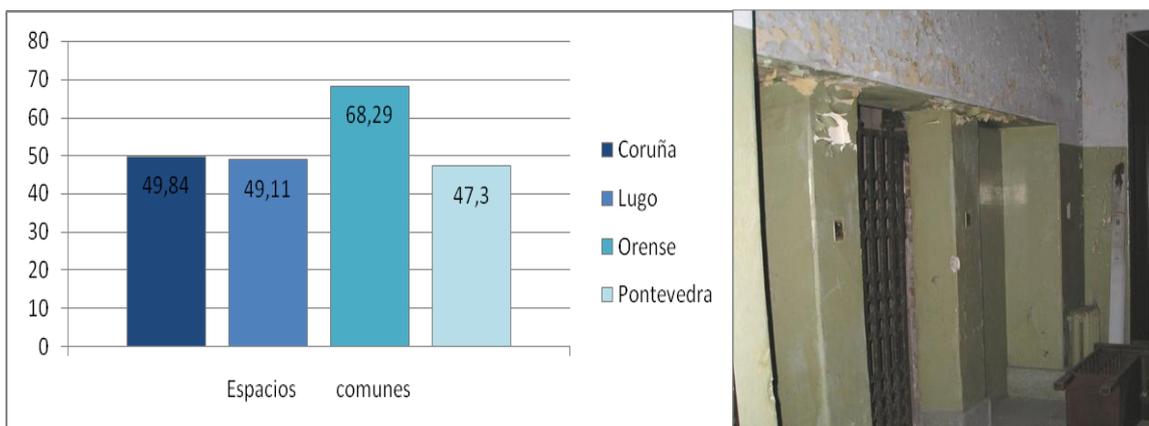
Esto se debe a que en las zonas costeras la lesión más común consiste en la rotura de las planchas de fibrocemento, pues conforman el único acabado de cobertura; posteriormente, se generan filtraciones hacia el interior. En el interior, en Lugo y Orense, el sistema de cobertura estándar es la pizarra y la teja cerámica respectivamente, siendo éstos elementos de cobertura mucho más resistentes frente al viento y el desgaste natural.

También influye en los resultados el hecho de que, en términos generales, las zonas costeras son siempre más venteadas que las del interior, afectando este parámetro a una superficie tan expuesta como es la cubierta.

Las condensaciones en la cara interior de los faldones de cubierta, por escasez de aislamiento térmico, ha sido otra lesión constante; pero ésta ha sido uniforme en todo el ámbito gallego.

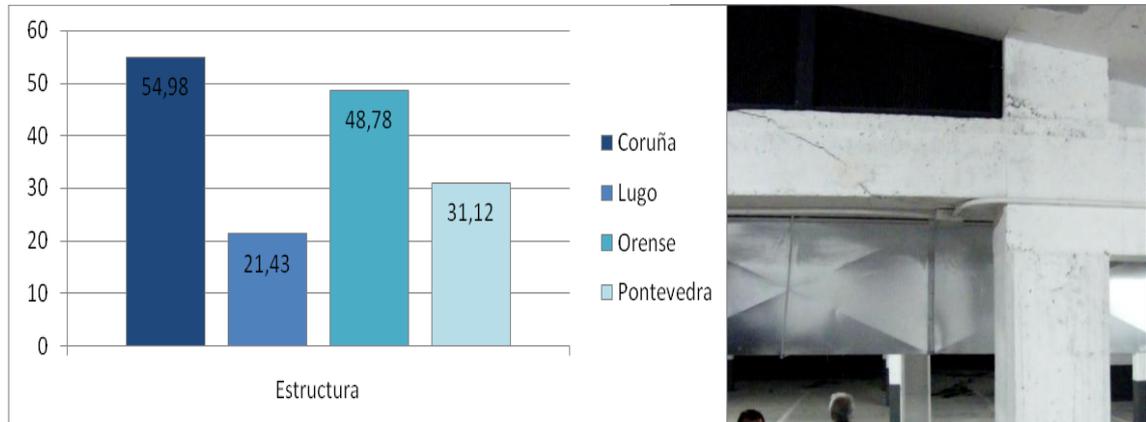
- ESPACIOS COMUNES: la distribución de porcentaje de lesiones mostrada en el gráfico inferior es prácticamente igual en Coruña, Lugo y Pontevedra. Sin embargo, en Orense asciende sustancialmente.

Ni las condiciones geográficas ni las costumbres constructivas locales ofrecen una explicación razonable que justifique el aumento relativo en Orense.



La lesión más generalizada ha consistido en la fisuración de tabiquerías debido a la deformación excesiva del forjado o a la vibración de maquinarias.

- ESTRUCTURA: Los porcentajes de lesiones vinculadas directamente con la estructura de hormigón resultan discordantes, tal como muestra el gráfico:

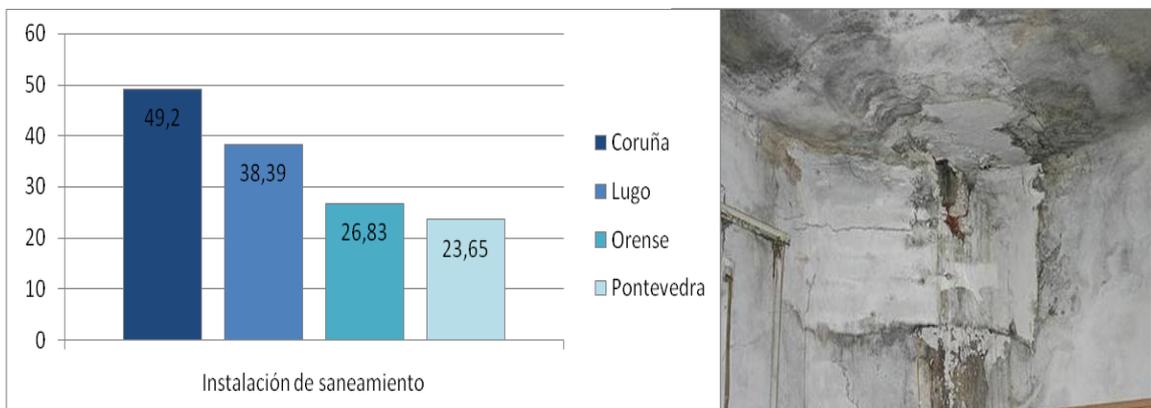


Aunque se analizarán los datos minuciosamente en el capítulo siguiente, ya se puede avanzar que en el caso de Coruña (destacando el área de Ferrol y la capital) y, en menor medida en el área marítima de Pontevedra, ha resultado muy significativo el número de lesiones asociadas a la carbonatación y la corrosión de armaduras, dado que el hormigón visto y expuesto a la agresión química externa ha sido un factor de diseño en la edificación de los años ochenta y principios de los noventa.

Por otra parte, se ha contrastado durante el proceso de inspección que en Orense eran habituales los pequeños constructores locales y además, dada la dispersión poblacional, el control sobre las obras era inferior a otras provincias.

En Lugo, como el estudio se ha centrado en edificaciones del interior, menos agresivo, se observa un porcentaje de lesiones bastante más reducido.

- INSTALACIÓN DE SANEAMIENTO: la distribución de porcentaje de lesiones es muy diferente en las zonas del norte como Coruña y Lugo, frente a las zonas del sur como Orense y Pontevedra:

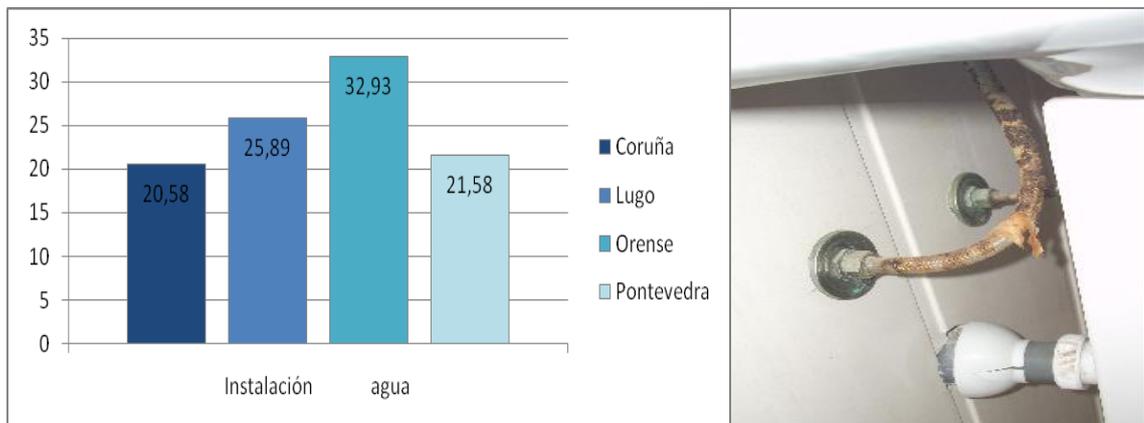


Es un hecho que la comunidad autónoma posee un clima lluvioso, por la influencia de los vientos húmedos y dominantes del suroeste. No obstante, se producen contrastes; en el borde costero tenemos un clima marítimo con temperaturas suaves, menos venteado pero más lluvioso cuanto más se descende hacia las Rías Bajas, mientras que en el interior existe un clima que tiene tendencia al continental, menos lluvioso, con heladas y contrastes acusados de temperatura.

Estas variantes climáticas de temperatura, viento, humedad e índice pluviométrico explican en gran medida las lesiones detectadas en el saneamiento pluvial, que ha sido el más afectado (canalones, sumideros, bajantes, arquetas, etc.).

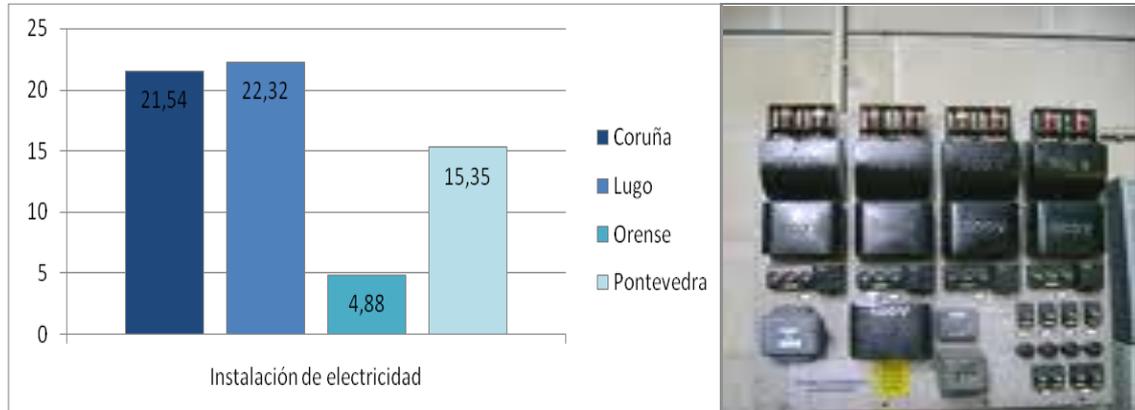
- **INSTALACIÓN DE AGUA:** en este caso los porcentajes de daños por provincias se mueven dentro de un rango de valores similar salvo en el caso de Orense.

La dispersión geográfica de las edificaciones de la muestra en la provincia de Orense está estrechamente ligada al abastecimiento con pozos de captación o redes rurales, en vez de realizarse por redes urbanas como en el resto de las provincias; de ahí el incremento en los porcentajes.



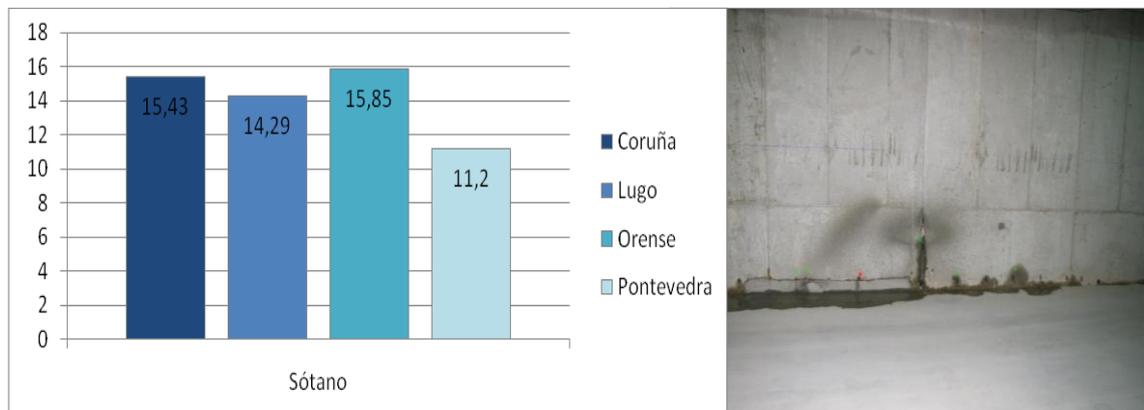
Los problemas comentados sobre el mal estado de las instalaciones o problemas con la escasa presión de agua son indiferentes a la ubicación geográfica ni de los sistemas constructivos locales.

- **INSTALACIÓN DE ELECTRICIDAD:** se observa que en Coruña y Lugo presentan valores similares. En Pontevedra decrece notablemente y en Orense arroja un resultado singular pero estimado tan solo sobre cuatro edificios afectados, por lo que no se puede considerar un dato representativo.



Las lesiones más comunes comentadas anteriormente, como el mal estado de los cuadros eléctricos y a la escasa seguridad de la instalación no dependen de la ubicación geográfica ni de los sistemas constructivos locales.

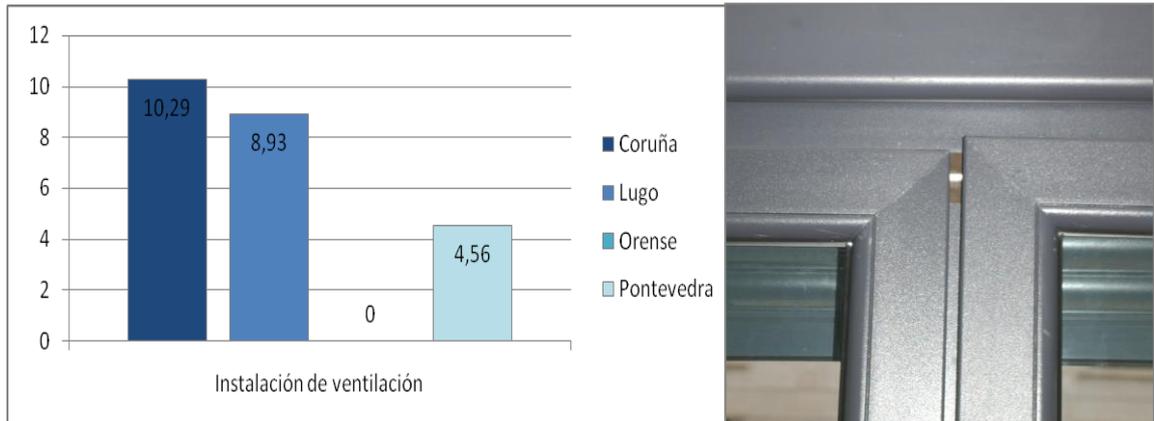
- **SÓTANO:** en este caso los datos por provincias se mueven dentro de un rango de valores muy uniforme, en torno al 14,2% con una dispersión de valores mínima:



Los problemas citados sobre filtraciones de agua del terreno a través de los muros de contención hacia las plantas de garaje así como la fisuración de las soleras del mismo han sido un fenómeno uniforme en toda la geografía.

- **INSTALACIÓN DE VENTILACIÓN:** las lesiones en este subsistema alcanzan un valor similar en Coruña, Lugo y Pontevedra. Curiosamente, sin ninguna explicación lógica, en Orense no se detectan lesiones relativas al mal estado de las carpinterías exteriores, a pesar de poseer el clima más extremo; ni tan siquiera defectos en las rejillas de ventilación por instalaciones de gas.

Tampoco se han detectado diferencias en las calidades de las carpinterías de una provincia a otra.



- **OTROS SUBSISTEMAS:** los grupos relativos a audiovisuales, elevación, gas, calefacción y protección contra incendios presentan incidencias irrelevantes, por lo que no procede profundizar en su análisis.

**RESUMEN:** Se produce una doble vertiente en la distribución de valores:

- Un primer grupo, correspondiente a las áreas costeras, engloba numerosas lesiones vinculadas a la degradación del material de acabado, tanto las pinturas de clorocaucho y los aplacados cerámicos de Fachadas como las planchas de fibrocemento en la Cubierta.

En el caso del Subsistema Estructura, las degradaciones del material (manchas, carbonatación, corrosión, desprendimiento de los recubrimientos, etc.) son fruto del ataque químico marino propio de las áreas costeras.

- Un segundo grupo, correspondiente a los núcleos urbanos menores, abarcan lesiones importantes producto del escaso control de la ejecución, de la baja calidad de los materiales o de una construcción pésima. Resulta sintomático el Subsistema Estructura, destacando la ausencia de separadores o los errores de encofrado y hormigonado.

La conclusión fundamental que se puede inferir de este estudio estadístico de las lesiones, pormenorizado por provincias y subsistemas, es que se demuestra

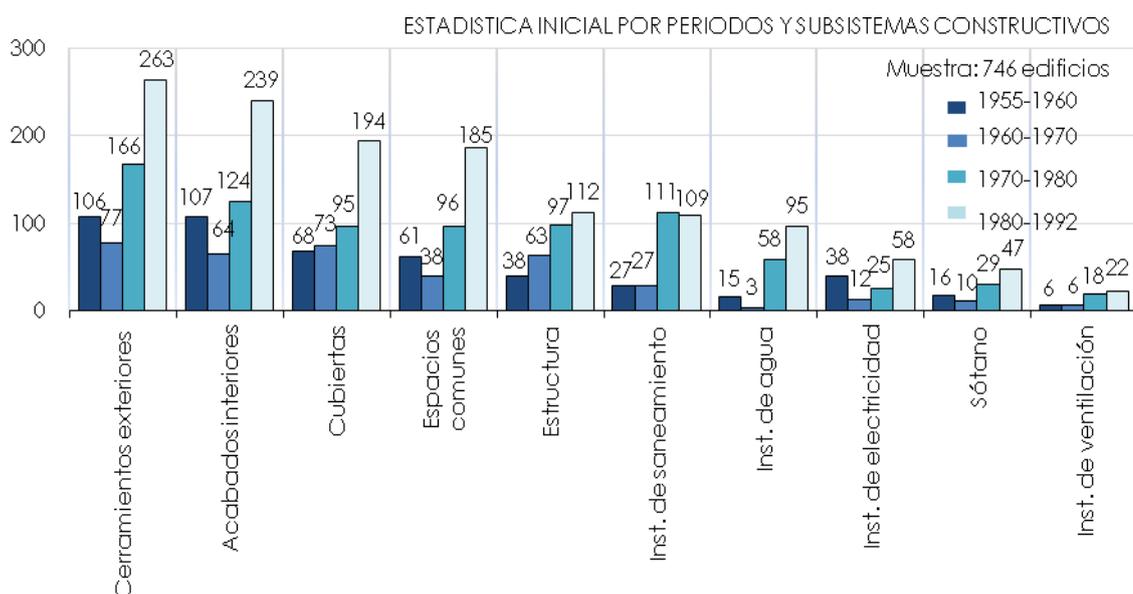
que se producen sintomáticas diferencias en el número y características de las lesiones si se contemplan dos aspectos importantes:

- Condicionantes geográficas: temperatura, índice pluviométrico, viento, exposición solar y ataque químico exterior.
- Técnicas constructivas locales: elección de los materiales, la solución de los diseños y el control de la ejecución de la obra"

Los subsistemas que se han mostrado menos afectados por ambas problemáticas son: Acabados Interiores, Espacios Comunes, Sótano y todas las Instalaciones estudiadas.

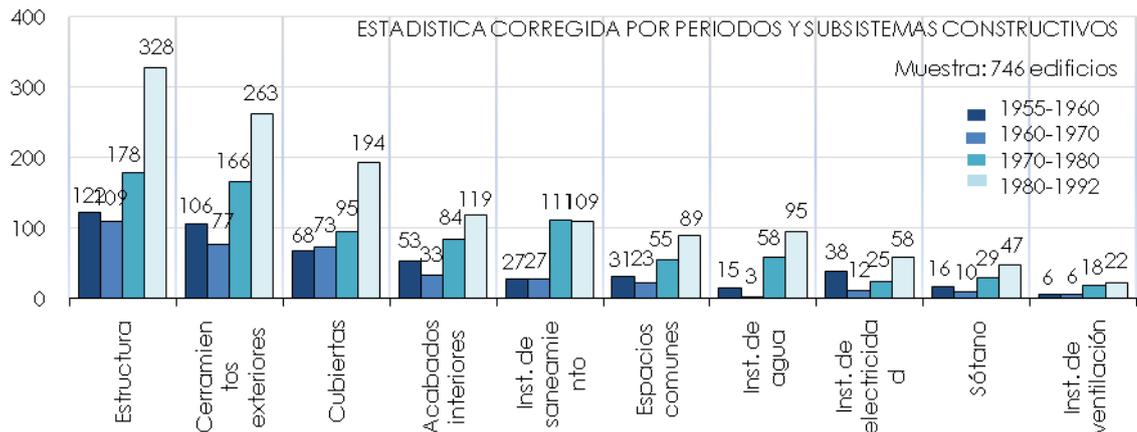
**ANÁLISIS 4.3:** En este caso se desglosan el número de edificios afectados y el porcentaje de las lesiones detectadas por subsistemas constructivos, en función del período constructivo, con el fin de analizar y extraer algunas conclusiones:

Tabla 4.3								
INCIDENCIA DE EDIFICIOS AFECTADOS Y PORCENTAJE DE SUS LESIONES POR ÉPOCA CONSTRUCTIVA (muestra: 746 edificios)								
SUBSISTEMA CONSTRUCTIVO	PERÍODO DE CONSTRUCCIÓN							
	1955-1960		1960-1970		1970-1980		1980-1992	
	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
Cerramientos exteriores	106	70,20	77	74,76	166	87,37	263	88,26
Acabados interiores	107	70,86	64	62,14	124	65,26	239	80,20
Cubiertas	68	45,03	73	70,87	95	50,00	194	65,10
Espacios comunes	61	40,40	38	36,89	96	50,53	185	62,08
Estructura	38	25,17	63	61,17	97	50,53	112	37,58
Inst. de saneamiento	27	17,88	27	26,21	111	58,42	109	36,58
Inst. de agua	15	9,93	3	2,91	58	30,53	95	31,88
Inst. de electricidad	38	25,17	12	11,65	25	13,16	58	19,46
Sótano	16	10,60	10	9,71	29	15,26	47	15,77
Inst. de ventilación	6	3,97	6	5,83	18	9,47	22	7,38
Inst. de audiovisuales	1	0,66	3	2,91	6	3,16	13	4,36
Inst. de elevación	0	0,00	0	0,00	19	10,00	12	4,03
Inst. de gas	4	3,31	1	0,97	8	4,21	8	2,68
Protec. contra incendios	0	0,00	1	0,97	0	0,00	6	2,01
Inst. de calefacción	1	0,66	0	0,00	0	0,00	4	1,34

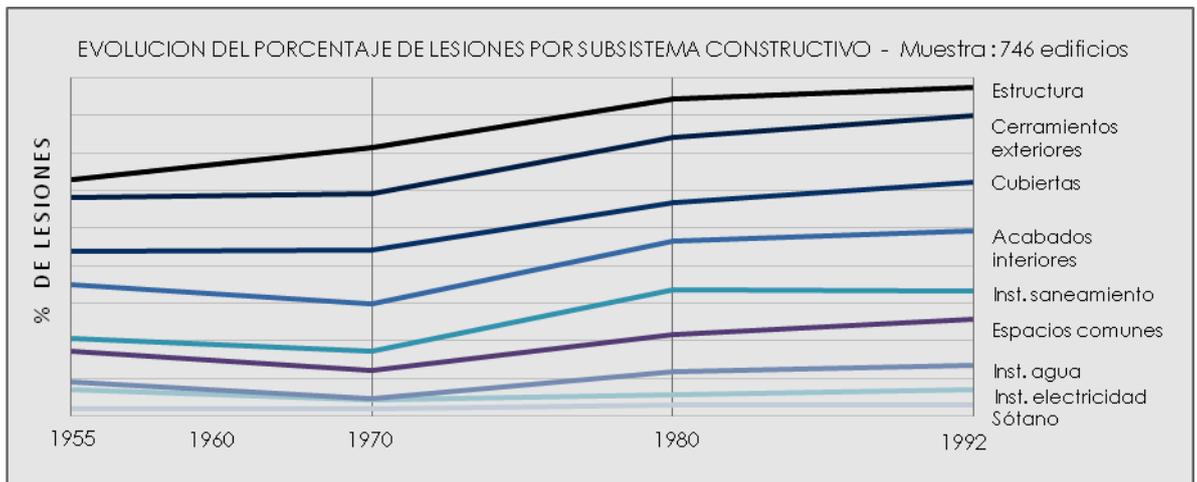


Como ya se ha aclarado en análisis precedentes, se han atribuido erróneamente algunas lesiones causadas por una deformación excesiva del forjado a los subsistemas de Acabados Interiores y Espacios Comunes.

Se procede a plantear para el presente estudio la Estadística Corregida la cual incorpora, a los daños propios del subsistema Forjado, aquellos otros daños vinculados erróneamente a los subsistemas comentados (Acabados Interiores y Espacios Comunes), los resultados definitivos quedarían de la siguiente forma:

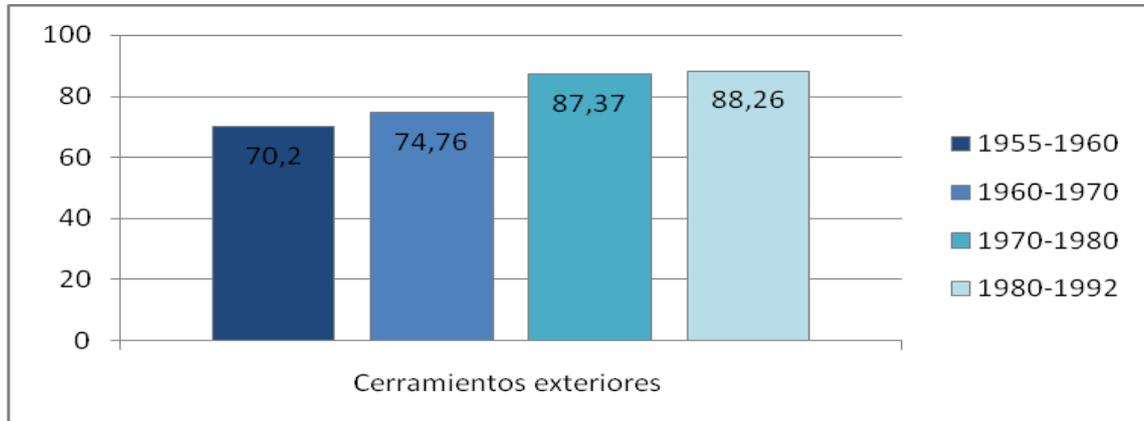


Evidentemente, el subsistema forjado pasa a ocupar el primer puesto tanto en el número de edificios afectados como en las lesiones acumuladas, por delante de los Cerramientos exteriores y de la Cubierta; el resto de subsistemas se distancian notablemente de este grupo predominante. En el gráfico inferior presentamos una comparativa general de la evolución de los daños:



No obstante, en los siguientes apartados por época constructiva, la discriminación de los daños propios y los ahora atribuibles al subsistema Forjado, no resultan relevantes para las conclusiones de este apartado, al mantenerse sin varianza perceptible la proporción de los porcentajes parciales, por lo que no ha lugar para duplicar la información.

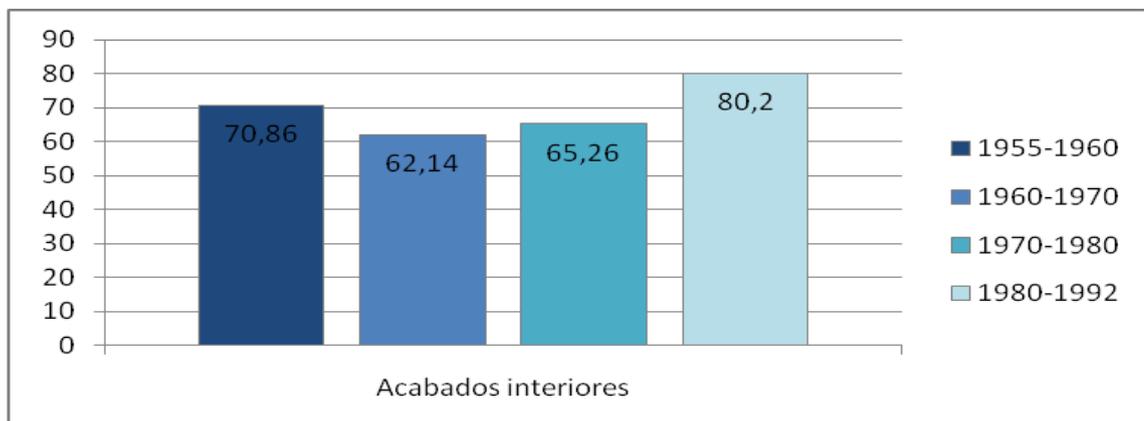
- CERRAMIENTOS EXTERIORES: los porcentajes aumentan progresivamente entre el primer periodo en estudio 1955-60 y el último 1980-92:



Si bien resulta obvio que, a mayor antigüedad, más acusado es el estado de deterioro de las fachadas puesto que es el elemento más expuesto a los ataques químicos y climáticos, los resultados parecen indicar lo contrario.

La explicación no es otra que los planes de mantenimiento de los propios usuarios los cuales han preservado la conservación y reparación de las fachadas de las edificaciones más antiguas: se destacan el repintado, el sellado de fisuras, el cambio de bajantes, etc.

- ACABADOS INTERIORES: los porcentajes arrojan los siguientes datos:

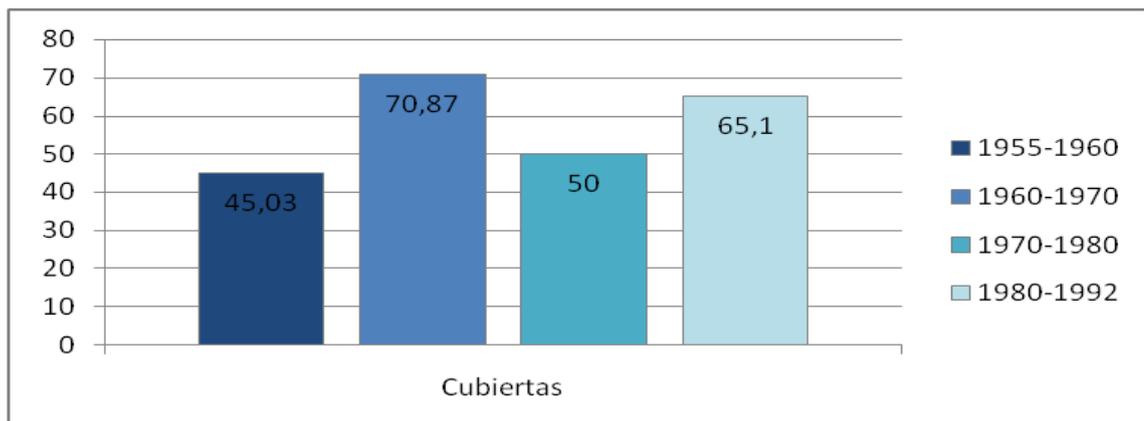


Ha resultado muy significativo haber comprobado durante el proceso de inspección que la realidad constructiva gallega concordaba con las observaciones realizadas por la Comisión Permanente del Hormigón en sus reuniones previas a la redacción de la EH-88 que básicamente eran:

- La patología asociada a la corrosión y a la falta de durabilidad empezaba a ser muy significativa en las primeras construcciones de los años 50. La falta de separadores, de recubrimientos adecuados y las dosificaciones pobres de los hormigones se sitúan ineludiblemente como sus causas principales.
- La patología por esbeltez de los forjados, en las construcciones de la década del 60 y, más aún las del 70, era ya muy difundida y preocupante en el parque inmobiliario español. No existen prescripciones que fijen unos criterios mínimos sobre el tema de la flecha, su concepto y los criterios de cálculo en el ámbito de los forjados (no se desarrolló en profundidad hasta la EF-96).
- La ausencia de normativa relativa al empleo sin control de nuevas tipologías de viguetas, armadas y pretensadas, generaba una ejecución irresponsable; esto daría pie a la incrementar las exigencias de las Autorizaciones de Uso existentes (R.D. 1630/1980).
- El empleo generalizado de las vigas planas asociado a la heredada esbeltez del forjado iniciaba una carrera imparable en los casos de deformación excesiva del forjado en los inicios del 80.

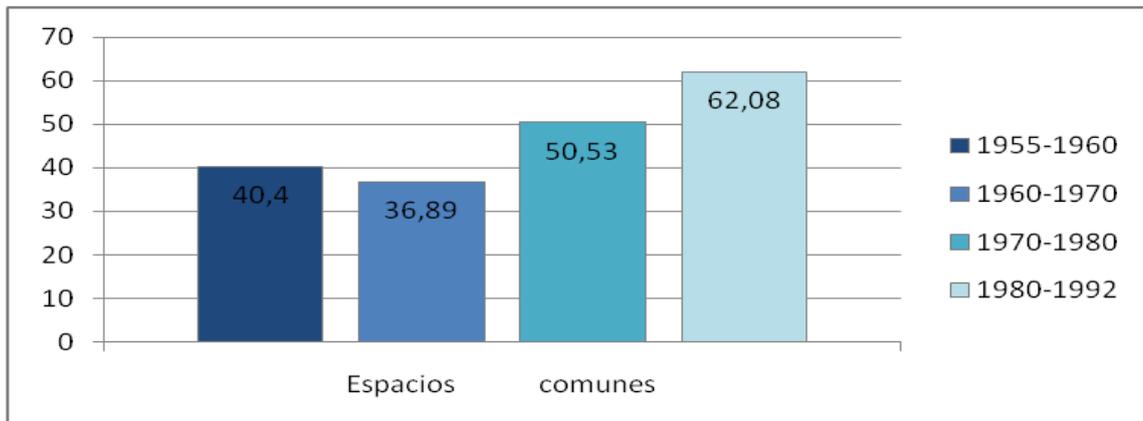
A mayores aportamos desde nuestra experiencia en este trabajo un dato que nos parece muy relevante, y que la tendencia de los resultados estadísticos confirma, y no es otro que el problema de la flecha diferida asociado a la antigüedad del edificio.

- CUBIERTAS: los porcentajes no presentan una tendencia clara con unos datos acordes a la evolución temporal:



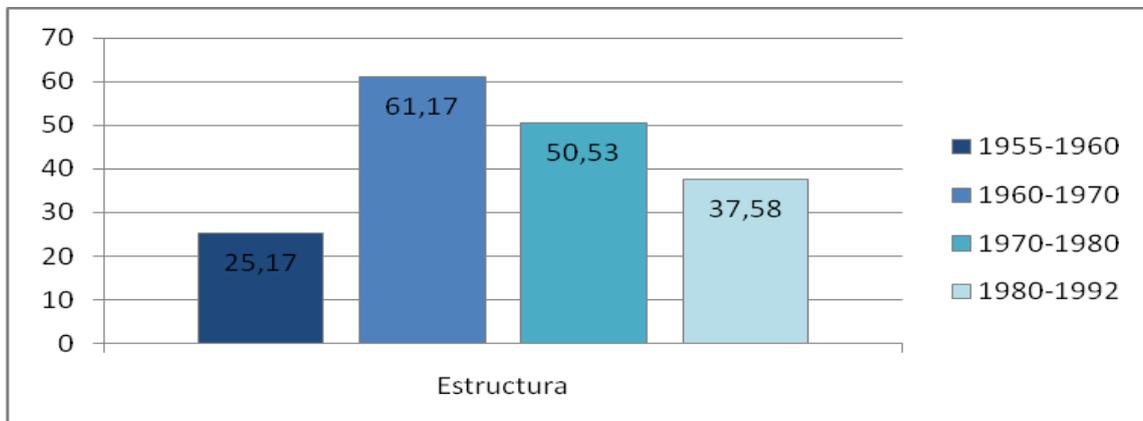
Este es el subsistema en el que se han detectado múltiples intervenciones de reparación anteriores a la fecha de inspección técnica, de ahí que se considere poco fiable el resultado estadístico obtenido.

- ESPACIOS COMUNES: la distribución queda así:



Se puede observar que la tendencia es muy similar a la del subsistema Acabados Interiores, lo cual tiene cierta lógica tras haber justificado en el análisis anterior que la mayor parte de estas lesiones tienen su origen en la deformación excesiva del forjado y que algunas lesiones fueron erróneamente atribuidas a este subsistema. El problema de flecha diferida asociado a la antigüedad del edificio se vuelve a manifestar veladamente.

- ESTRUCTURA: los datos arrojan una tendencia ascendente-descendente dentro del periodo en estudio:

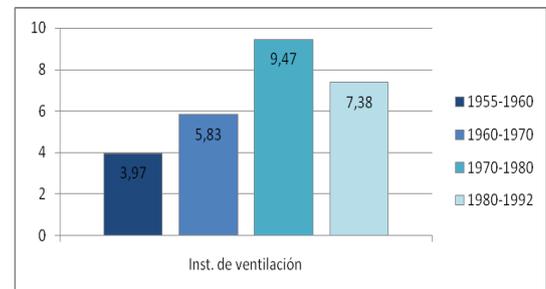
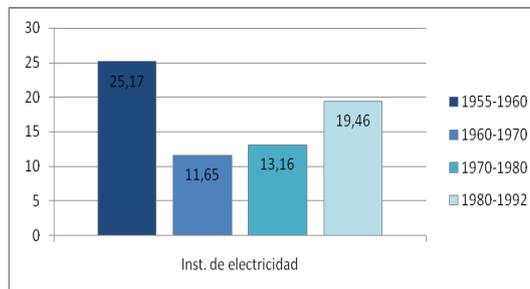
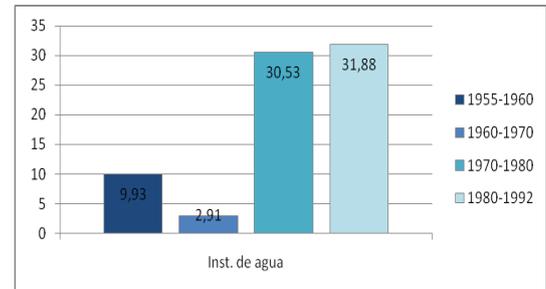
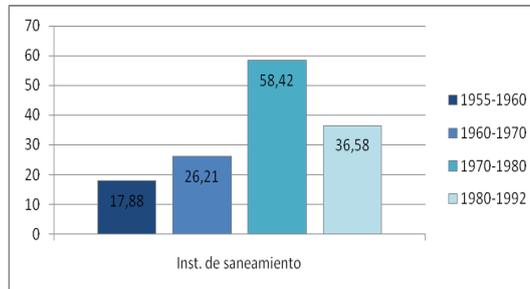


No cabe duda de que la tendencia de daños en este subsistema está íntimamente vinculada a la evolución de la normativa en el tema de la deformación de los forjados, tal como se avanzó en el capítulo 2.4.

Sin embargo, la evolución de la normativa en relación con la durabilidad del hormigón ha sido prácticamente nula y los daños han ido en aumento inexorablemente.

En cualquier caso, se analizará la estadística de la estructura de hormigón con mayor rigor y profundidad más adelante, diferenciando ambos aspectos.

- INSTALACIONES DE SANEAMIENTO, AGUA, ELECTRICIDAD Y VENTILACIÓN: los porcentajes de lesiones no presentan una tendencia clara en el periodo en estudio a causa de las diversas intervenciones de mantenimiento realizadas por los usuarios:



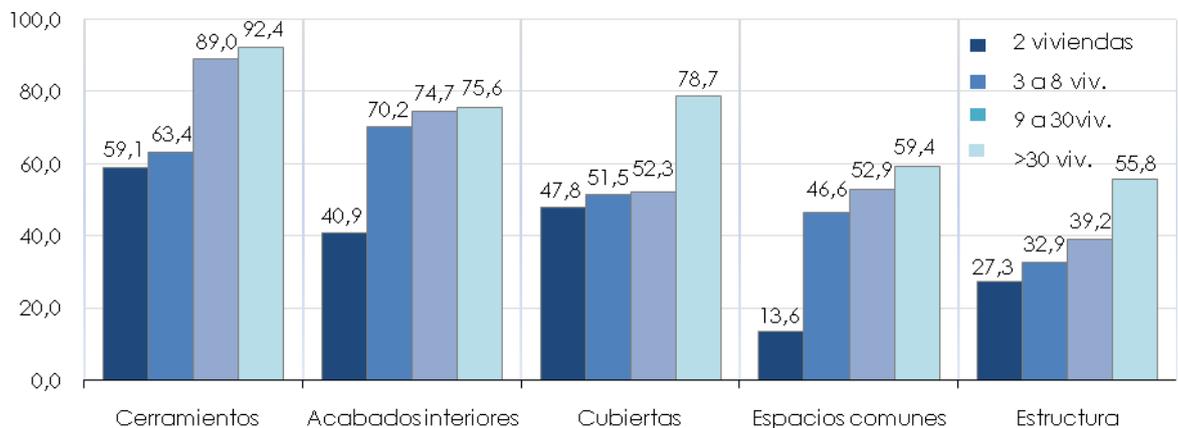
**RESUMEN:** resulta lógico que a mayor antigüedad los diferentes subsistemas constructivos presenten mayor número de lesiones; sin embargo, las intervenciones de reparación y mantenimiento por parte de los usuarios, han generado ciertas reducciones y/o distorsiones importantes en el número de las mismas, más relevante en el caso de las fachadas e instalaciones.

Respecto de la estructura de hormigón armado, los daños derivados de la deformación y la durabilidad, van parejos con la evolución de la normativa española en estos ámbitos específicos.

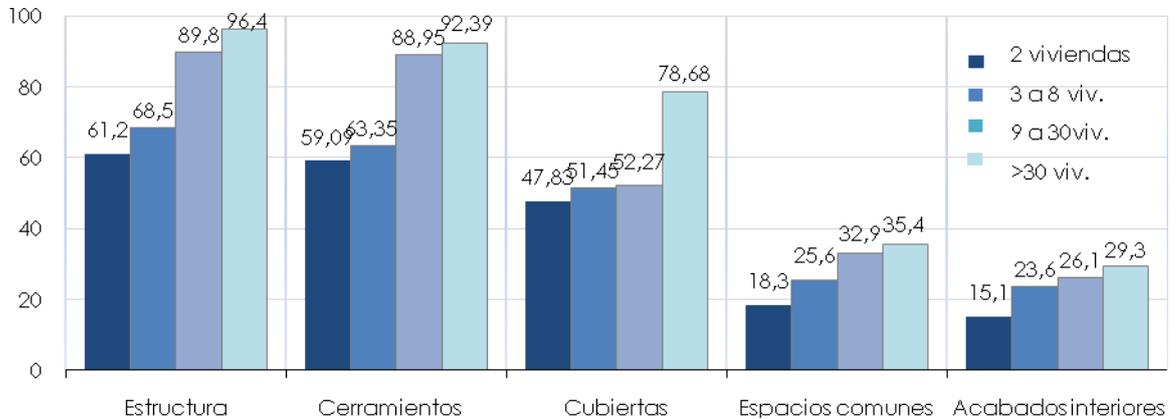
**ANÁLISIS 4.4:** En este estudio se presenta la relación existente entre el volumen edificado según el número de viviendas, y por lo tanto su complejidad constructiva, y el porcentaje de lesiones detectadas por subsistemas principales, con el fin de analizarlas y extraer algunas conclusiones:

SUBSISTEMA CONSTRUCTIVO	% LESIONES EN LOS EDIFICIOS			
	2 viviendas	3 a 8 viv	9 a 30 viv.	>30 viv.
Cerramientos exteriores	59,09	63,35	88,95	92,39
Acabados interiores	40,91	70,19	74,71	75,63
Cubiertas	47,83	51,45	52,27	78,68
Espacios comunes	13,64	46,58	52,91	59,39
Estructura	27,27	32,92	39,24	55,84
Instalación de saneamiento	9,09	21,12	34,30	60,41
Instalación de agua	4,55	19,88	22,67	30,46
Instalación de electricidad	9,32	22,73	18,90	21,83
Instalación de ventilación	0,00	2,48	5,81	14,72
Instalación de audiovisuales	0,00	2,48	3,49	3,55
Instalación de elevación	0,00	0,00	3,20	10,15
Instalación de gas	0,00	1,86	2,03	5,58
Instalación contra incendios	0,00	0,00	0,58	2,54
Instalación de calefacción	2,27	0,00	0,58	1,02

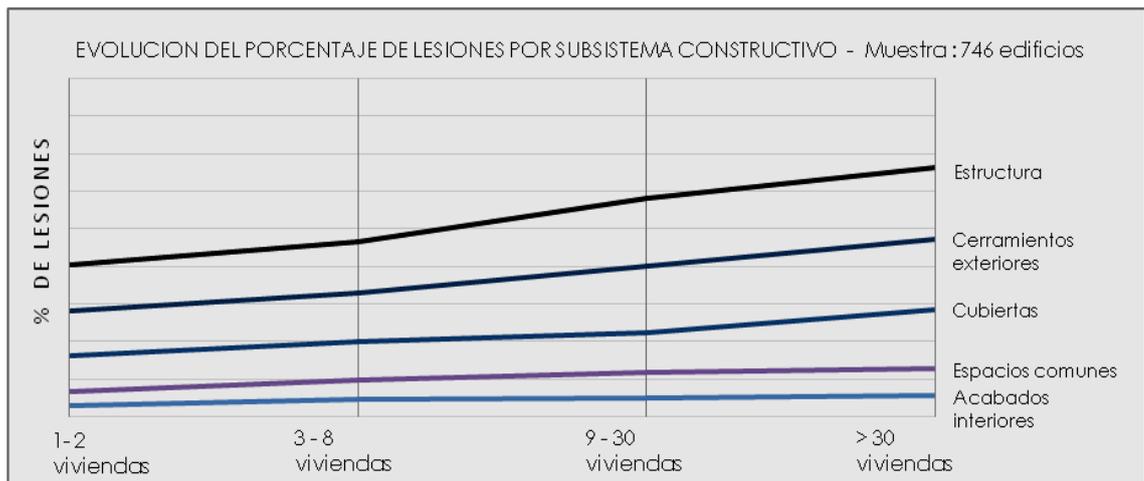
Se muestran en forma de gráfico únicamente los subsistemas constructivos relevantes a efectos de este apartado, observándose claramente el incremento progresivo de lesiones a medida que aumenta el número de viviendas:



Considerando aquellas lesiones atribuidas erróneamente a los subsistemas Acabados Interiores y Espacios Comunes, los porcentajes de lesiones quedarían reordenados de la siguiente forma:



En el siguiente gráfico presentamos una comparativa general de la tendencia de los daños frente al incremento del número de viviendas:



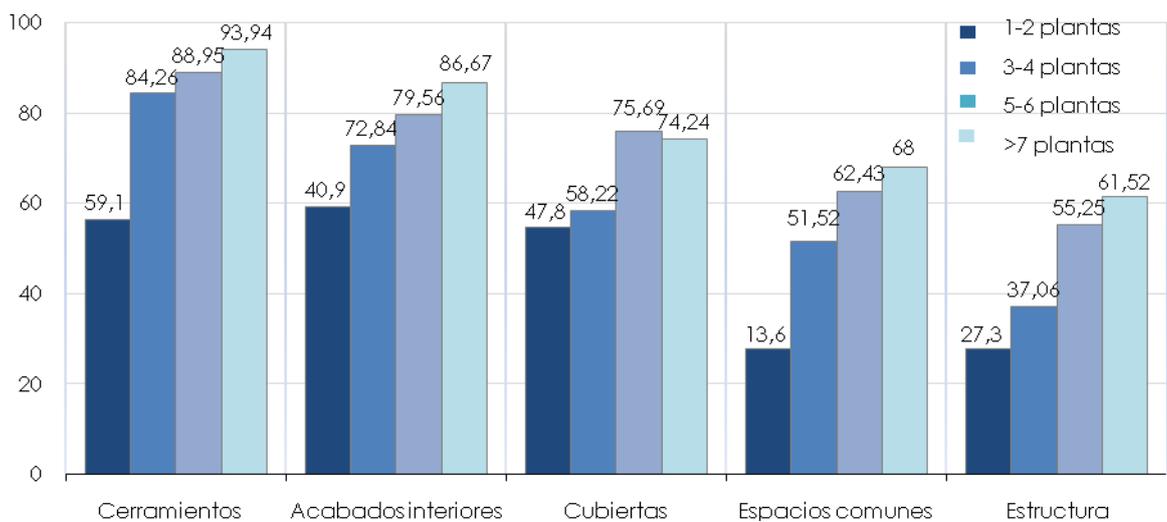
Nótese que en este gráfico, correspondiente a la estadística corregida, la tendencia en los subsistemas Acabados Interiores y Espacios comunes prácticamente no presentan una evolución al alza, en contra de la estadística inicial. Evidentemente, las lesiones de estos subsistemas, al no estar ahora vinculados a la deformación excesiva del forjado, resultan independientes de la entidad constructiva, y son meramente atribuibles al envejecimiento de los materiales o a una falta de mantenimiento adecuado.

En cambio, la tendencia de Estructura, Cerramientos y Cubiertas, si bien es al alza no resulta muy acusada (en función del número de viviendas) en contraste con el análisis comparativo que viene a continuación (daños en función del número de plantas).

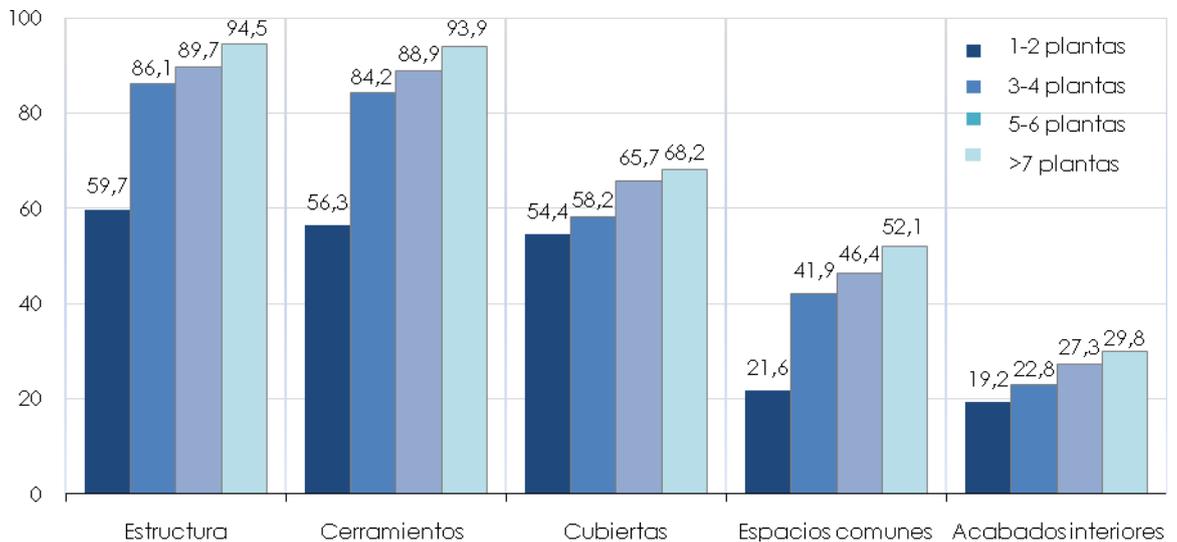
En este segundo análisis se analiza la relación existente entre el volumen edificado según el número de plantas y, por lo tanto su complejidad constructiva, y el porcentaje de lesiones detectadas por subsistemas principales, con el fin de analizarlas y extraer algunas conclusiones:

SUBSISTEMA CONSTRUCTIVO	% LESIONES EN LOS EDIFICIOS			
	1-2 plantas	3-4 plantas	5-6 plantas	>7 plantas
Cerramientos exteriores	56,38	84,26	88,95	93,94
Acabados interiores	59,16	72,84	79,56	86,67
Cubiertas	54,45	58,22	75,69	74,24
Espacios comunes	27,78	51,52	62,43	68,00
Estructura	27,77	37,06	55,25	61,52
Instalación de saneamiento	25,10	36,04	43,65	62,12
Instalación de agua	5,83	21,32	35,36	37,27
Instalación de electricidad	17,50	14,47	20,99	30,30
Instalación de ventilación	3,89	5,08	15,47	4,55
Instalación de audiovisuales	2,22	3,55	3,87	1,52
Instalación de elevación	0,00	0,00	14,36	7,58
Instalación de gas	0,00	2,79	4,42	3,03
Instalación contra incendios	0,00	0,51	2,76	0,00
Instalación de calefacción	2,22	0,51	1,10	0,00

El siguiente gráfico muestra únicamente los subsistemas constructivos más relevantes a efectos de este apartado, observándose igualmente el aumento progresivo de lesiones a medida que aumenta el número de plantas:

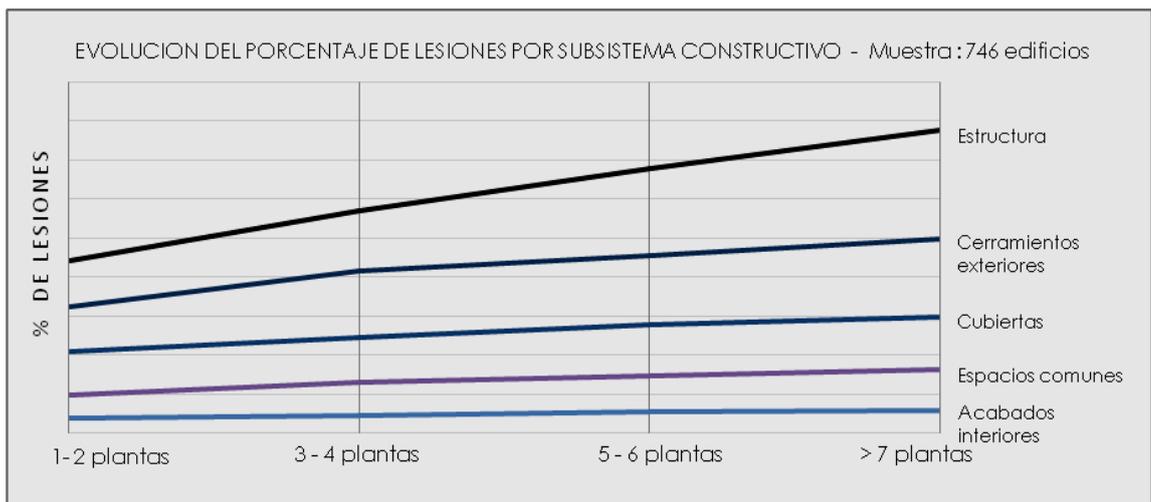


Procediendo de igual forma que en los análisis anteriores, se muestra la Estadística Corregida y sus porcentajes de lesiones:



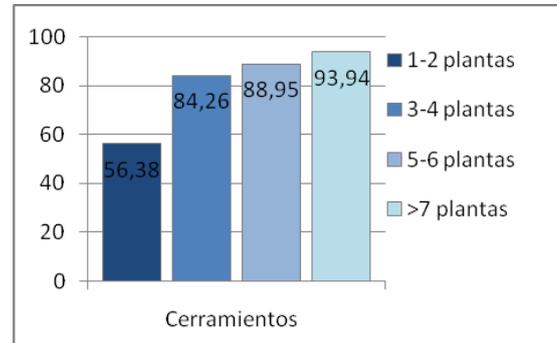
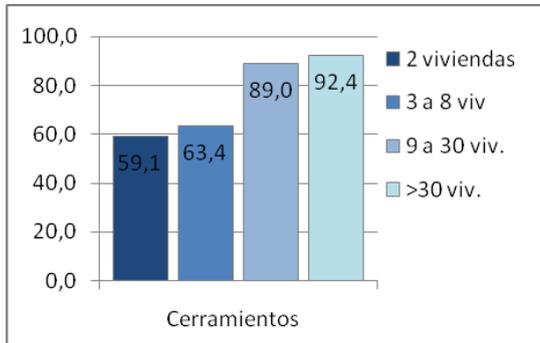
Nótese que si bien se reordenan los subsistemas, pasando la estructura al primer lugar (y con valores muy similares los Cerramientos Exteriores), las tendencias en ambas estadísticas resultan prácticamente similares. Por esta razón, al pasar a estudiar cada apartado independiente, resulta irrelevante duplicar los estudios estadísticos (inicial / corregido).

En el siguiente gráfico presentamos una comparativa general de la tendencia de los daños frente al progresivo aumento del número de plantas:



Resulta muy revelador que la tendencia al alza de la estructura, y en menor medida los cerramientos, es inequívoca ante el incremento del número de plantas. La explicación no es otra que el problema de la deformación excesiva del forjado ante la formación de los arcos de descarga desde los pisos superiores a los inferiores.

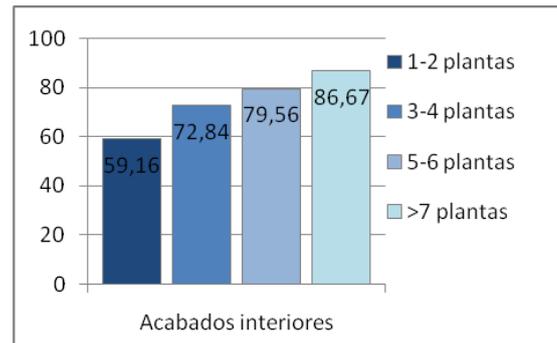
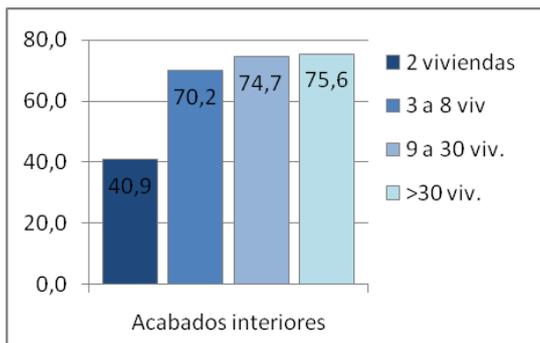
- CERRAMIENTOS EXTERIORES: las lesiones presentan los siguientes porcentajes en función del número de viviendas y de plantas:



Se concluye que, un mayor volumen edificado conlleva el aumento de la superficie de fachadas (principales y a patios de luces) y, por lo tanto, el número de daños en los cerramientos resulta más elevado.

Una cuestión interesante es la correlación entre daños genéricos en las fachadas y las fisuraciones de los cerramientos en las plantas inferiores a causa de la flexibilidad excesiva de los voladizos (por efecto de los semiarcos de descarga). Si bien la experiencia durante la inspección lo ha confirmado en los edificios generalmente de más de cinco o seis plantas, a nivel estadístico no podemos evaluar el problema de los voladizos, por cuanto los campos de la base de datos no resultan comparables en la práctica.

- ACABADOS INTERIORES: los daños arrojan los siguientes porcentajes en función del número de viviendas y de plantas:



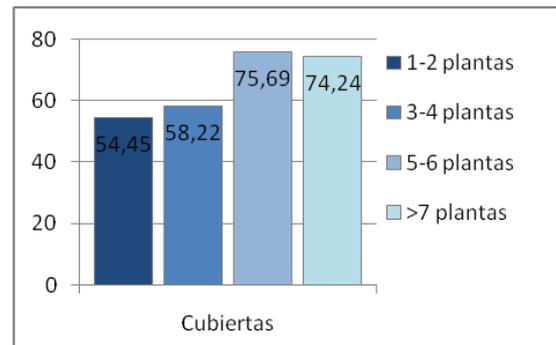
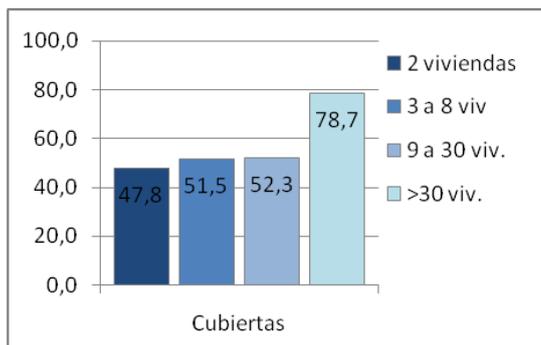
De igual manera que en el caso anterior, un mayor volumen edificado conlleva el aumento de la superficie de pavimentos, falsos techos y tabiquerías interiores, con lo cual el número de daños aumenta considerablemente.

Se ha podido verificar en la práctica que, en términos generales, al aumentar el número de plantas aumentan los daños originados por el problema conocido de los arcos de descarga desde los pisos superiores hacia los

inferiores ante la excesiva deformabilidad de los forjados; por lo tanto la sintomatología reflejada en los acabados interiores aumenta proporcionalmente.

La ejecución adecuada de la tabiquería de arriba hacia abajo o bien dejando sin retacar la hilada superior, hubiera paliado enormemente este problema.

- CUBIERTAS: las lesiones en este grupo presentan los siguientes porcentajes en función del número de viviendas y de plantas:

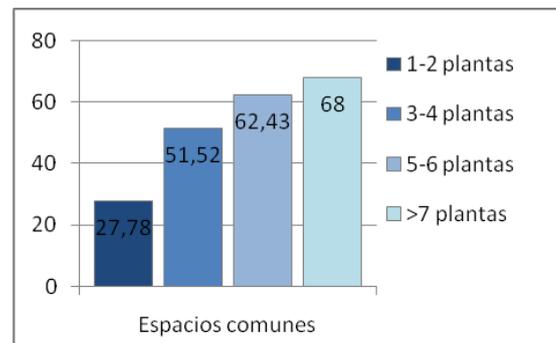
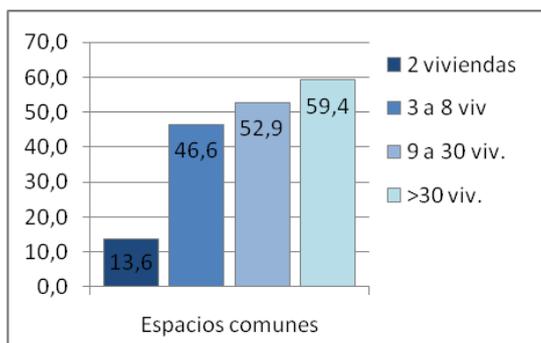


El primer gráfico (en función del número de viviendas) refleja que el aumento de la superficie construida de la cubierta conlleva la complejidad de encuentros, faldones y del número de piezas expuestas a daños.

El segundo gráfico (en función del número de plantas del edificio) implica que, al aumentar el número de plantas, aumenta la longitud de las bajantes y el número de conexiones y codos, y las lesiones por filtraciones de las mismas han sido una constante a lo largo del proceso de inspección.

Resulta anecdótico el hecho de que, en el caso de edificios mayores de siete plantas, los porcentajes de lesiones disminuyen ligeramente.

- ESPACIOS COMUNES: los daños arrojan los siguientes porcentajes en función del número de viviendas y de plantas:

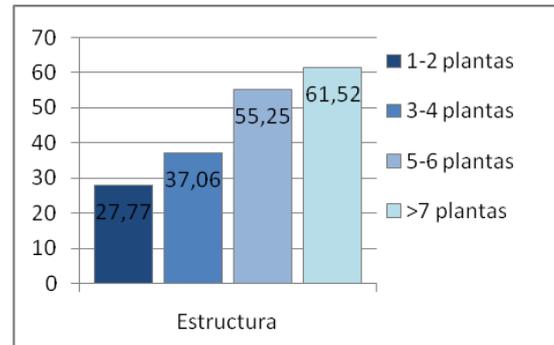
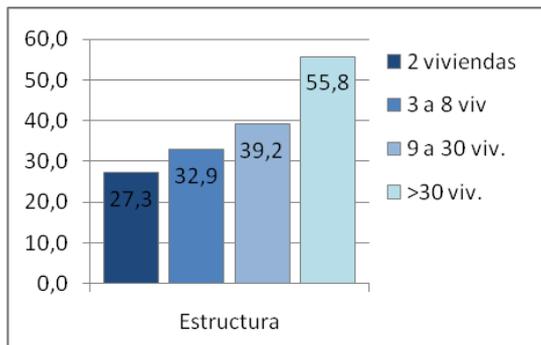


Evidentemente, el aumento del número de viviendas y/o plantas apenas incide en el aumento de los portales/escaleras sujetos a posibles lesiones.

Sin embargo, también es de aplicación el razonamiento expuesto en acabados interiores sobre la flexibilidad excesiva de los forjados y la consecuencia de los arcos de descarga; recordemos que la lesión principal de este subsistema constructivo era la fisuración de tabiquerías de la caja de escaleras y de los corredores.

No se puede obviar que, de forma habitual y durante muchos años (hasta la aparición de los programas de cálculo tridimensional), los nervios perimetrales de las cajas de escaleras no se calculaban, limitándose a poner zunchos estándar con un armado mínimo en la mayor parte de las ocasiones.

- ESTRUCTURA: las lesiones presentan los siguientes porcentajes en función del número de viviendas y de plantas:



Resulta evidente que, en términos generales, la complejidad estructural aumenta a mayor volumen y con el número de plantas edificadas: concentración de cargas, transmisión de éstas al terreno, cargas de viento, redistribuciones de esfuerzos, arcos de descarga de plantas altas hacia las inferiores, exposición de elementos al ataque químico, etc.

En el capítulo posterior se desarrolla en detalle este subsistema.

**RESUMEN:** El resultado de este análisis es contundente, presentando las lesiones una tendencia al alza muy clara.

En el período estudiado, para todos los Subsistemas Constructivos se verifica que, a mayor número de viviendas y/o plantas y por lo tanto mayor entidad edificatoria y mayor complejidad constructiva, el número de daños crece proporcionalmente.

**ANÁLISIS 4.5:** Se presenta el coste final de las reparaciones previstas al finalizar el proceso de inspección. Este análisis no requiere de una Estadística Corregida dado que, independientemente de la asignación de una lesión a uno u otro subsistema, sus precios y mediciones son invariantes. La clasificación que regía el Convenio se atenía a estos tres tipos:

- Diferida: la reparación se podía demorar dentro de los tres años posteriores a la redacción del informe.
- Urgente: el plazo para afrontar la intervención no podía demorarse más de un año desde la fecha de redacción del informe.
- Inmediata: cuando la actuación a realizar, provisional o definitiva, no permite ningún atraso. Incluye apuntalamiento y/o desalojo.

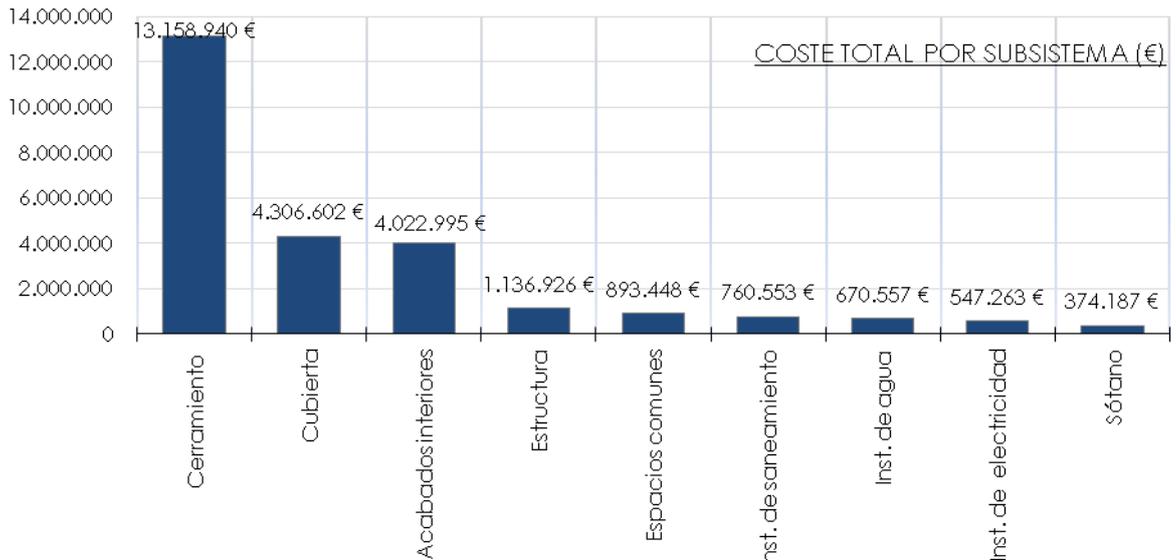
Cabe afirmar que las reparaciones clasificadas como inmediatas tuvieron una escasa incidencia en el conjunto puesto que han sido muy puntuales. En el ámbito de la estructura encontramos un único caso; se trataba de una lesión por agotamiento de dos pilares de hormigón lo cual requirió el apuntalamiento inmediato y un posterior proyecto de refuerzo.

En cualquier caso, el acuerdo de confidencialidad con el IGVS exige no facilitar datos relativos a las intervenciones inmediatas, de ahí se desprende que la tabla sólo contiene valores de reparaciones diferidas y urgentes.

SUBSISTEMA CONSTRUCTIVO	URGENTES		DIFERIDAS		TOTALES
	Nº	Coste	Nº	Coste	Coste
Cerramientos exteriores	321	4.841.125,09	1308	8.317.815,33	13.158.940,40
Cubiertas	228	2.212.698,03	524	2.093.904,16	4.306.602,19
Acabados interiores	124	642.731,53	1076	3.380.263,44	4.022.994,97
Estructura	182	493.180,11	286	643.745,63	1.136.925,74
Espacios comunes	57	157.949,14	567	735.499,32	893.448,46
Inst. de saneamiento	91	335.830,41	257	424.722,86	760.553,27
Inst. de agua	74	306.808,32	109	363.748,73	670.557,05
Inst. de electricidad	97	338.070,22	59	209.192,49	547.262,71
Sótano	23	53.215,51	102	320.971,49	374.187,00
Inst. de ventilación	20	56.264,65	40	21.634,63	77.899,28
Inst. de elevación	11	33.885,06	21	22.616,00	56.501,06
Inst. de audiovisuales	2	901,52	21	26.541,90	27.443,42
Inst. de gas	9	3.906,56	13	9.120,96	13.027,52
Inst. de calefacción	0	0,00	4	7.227,77	7.227,77
Inst. contra incendios	3	450,76	5	2.283,85	2.734,61
TOTAL		9.477.016,91		16.579.288,6	26.056.305,5

4.5a - En primer lugar se presenta una valoración del COSTE TOTAL de las reparaciones, por subsistemas constructivos.

Se excluyen del gráfico, por no resultar significativos, los costes relativos a instalaciones de segundo orden con una escasa repercusión final (ventilación, elevación, audiovisuales, gas, calefacción y protección contra incendios):



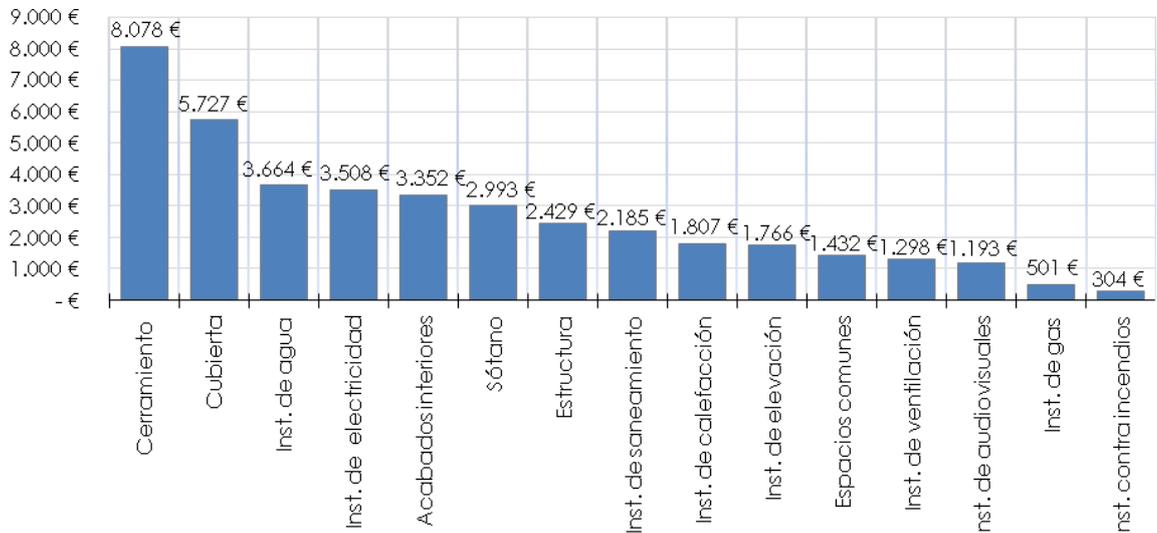
Destaca de forma rotunda el coste total de la reparación de daños del subsistema Cerramientos Exteriores y, en un segundo término, Cubiertas y Acabados Interiores. El resto de subsistemas, incluida la estructura, arrojan una repercusión económica claramente inferior.

La reparación de fachadas acumula 1629 intervenciones. Contemplaba un amplio abanico de partidas destinadas al repintado, reposición de plaquetas, impermeabilizaciones, sellado de juntas, reparación de fisuras, y/o sustitución de carpinterías.

La reparación de cubiertas, aunque sumaban tan solo 752 intervenciones, ha resultado muy gravosa por la repercusión económica de la extensión de las superficies afectadas. Englobaba básicamente la sustitución parcial o total del sistema de cobertura, más acuciante en el caso de los acabados con planchas de fibrocemento.

El montante relativo a acabados interiores con 1200 intervenciones, tal y como hemos visto anteriormente, abarcaba la reparación de los daños constructivos consecuencia, primordialmente, de la excesiva flexibilidad de los forjados; sustitución de pavimentos, reparación de fisuras en tabiquerías y falsos techos.

4.5b - En segundo término se analiza el COSTE MEDIO de las reparaciones por subsistema constructivo, el cual ha resultado bastante sorprendente:



Resulta evidente que el coste medio de las reparaciones del subsistema Cerramientos exteriores es el más elevado, seguido del de Cubiertas. Obsérvese en un segundo plano, que junto al coste medio de Acabados Interiores se encuadran subsistemas que en anteriores análisis no habían despuntado como Instalaciones de Electricidad y Agua; curiosamente los costes correspondientes a Sótano y Estructura se sitúan en un discreto término medio.

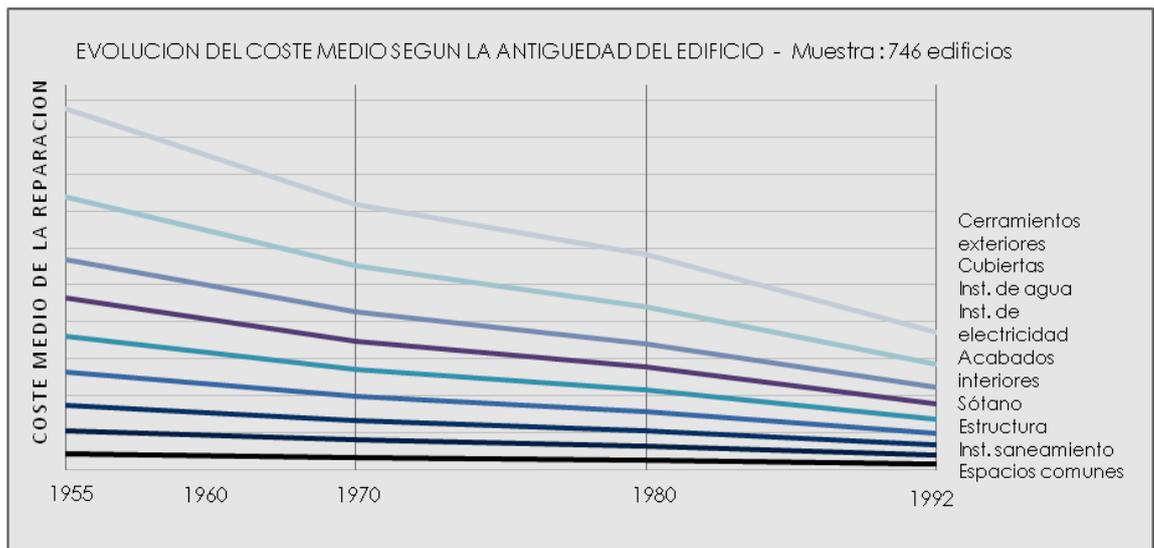
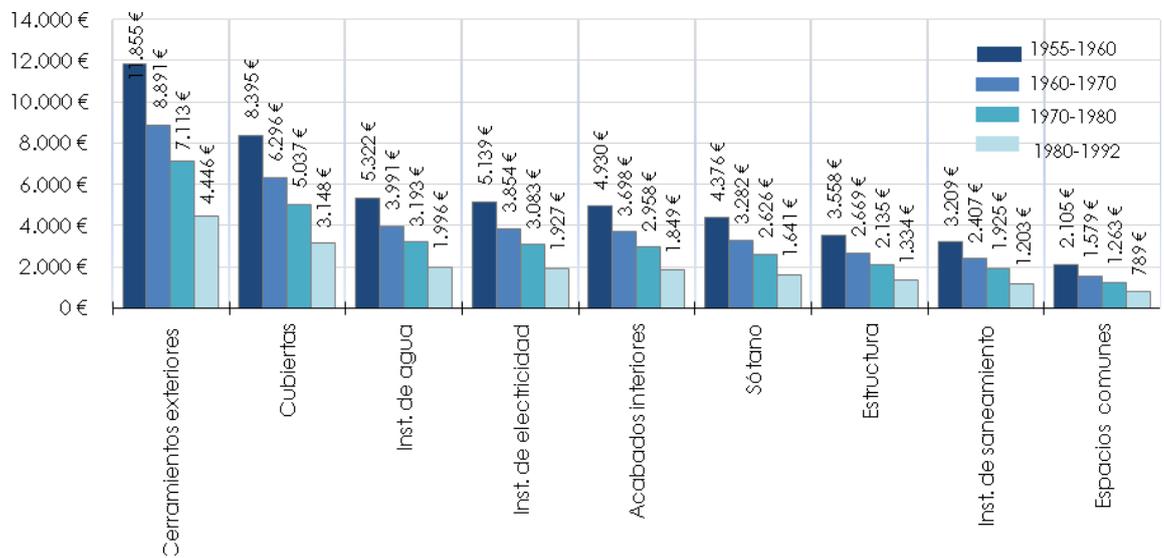
La explicación al costo de reparación de las fachadas viene claramente motivada por la necesidad de incluir el coste de los complejos sistemas de andamiaje; en el caso de las cubiertas, generalmente son necesarias grúas de elevación y dispositivos de protección (redes, vallas, trabajo con arneses, etc.).

El coste relativo a las instalaciones de agua y electricidad suponen partidas importantes que suelen englobar oficios especializados y trabajos auxiliares muy laboriosos (instalación de cuadros, llaves, apertura de rozas, pasos de canalizaciones, etc.) y su posterior reparación.

El coste medio en el caso de los acabados interiores resulta relativamente elevado porque se ve incrementado por la intervención de múltiples oficios superpuestos en obras generalmente de escasa envergadura: escayola, albañilería, carpintería, pintura, etc.

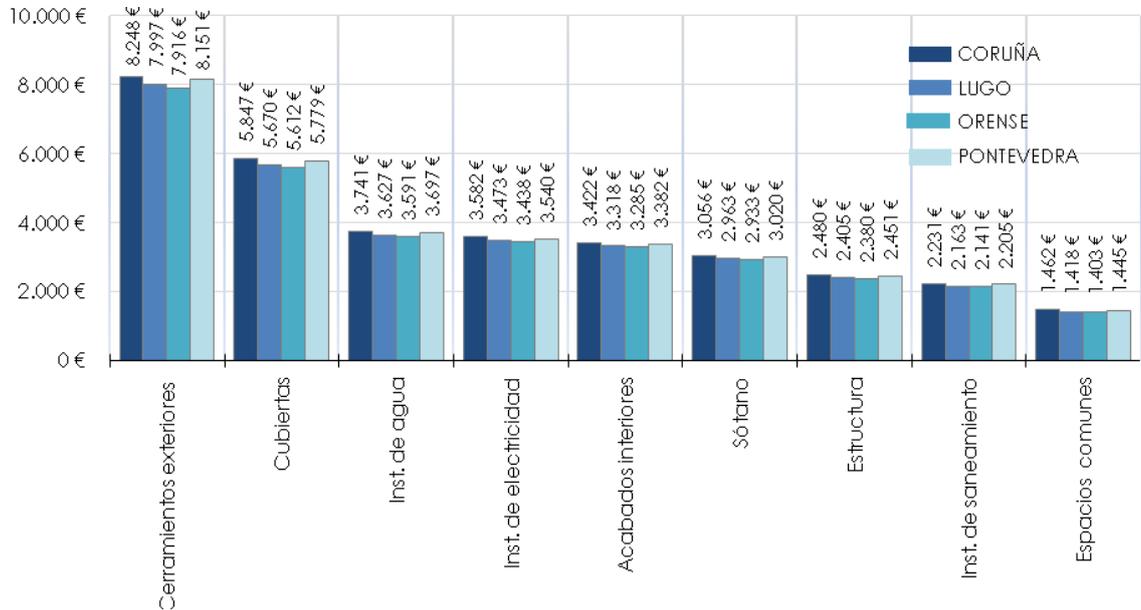
El coste de reparación de daños estructurales se analizará con detalle más adelante.

4.5c - Un tercer análisis relevante consiste en reevaluar el COSTE MEDIO de la reparación pero considerando ahora la ANTIGUEDAD del edificio:



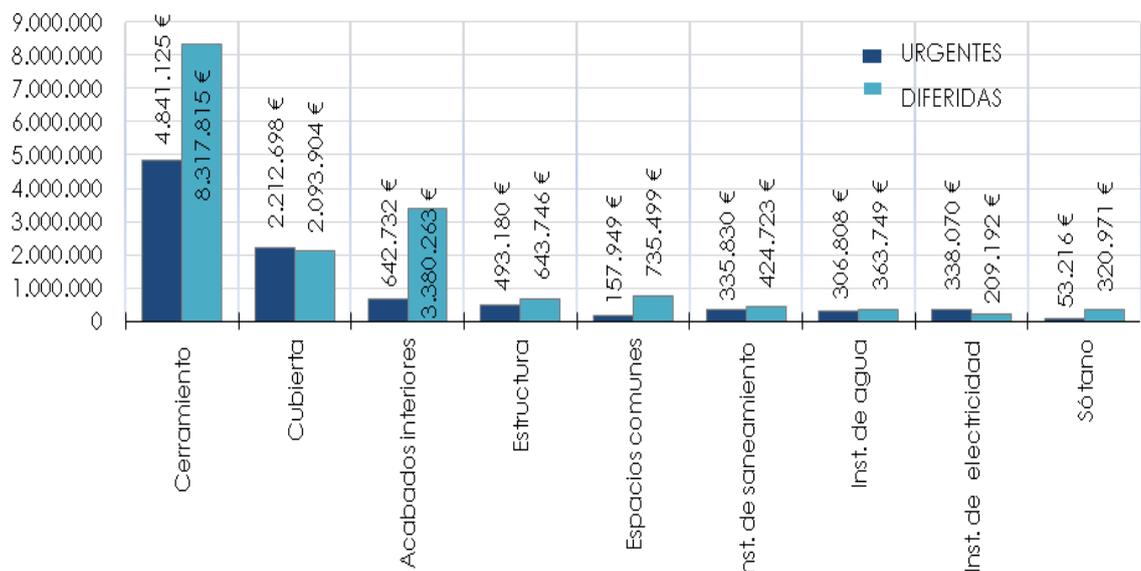
El resultado de la tendencia resulta inequívoco, a mayor antigüedad del edificio, los daños se incrementan paulatinamente resultando más alto el coste medio de cada reparación. Dicho de otra manera, el envejecimiento es un factor clave a considerar para la valoración de las reparaciones.

4.5d - El cuarto análisis indaga en el COSTE MEDIO de la reparación considerando ahora el AREA GEOGRAFICA del edificio:



Tan solo se puede deducir que el coste medio presenta una oscilación máxima inferior al 3% entre provincias, por lo que no resulta un estudio muy significativo.

4.5e - El último gráfico surge de comparar los COSTES DIFERIDOS o URGENTES en base al apremio en la reparación de los daños. Este apartado resulta muy orientativo para la previsión del plan de mantenimiento corrector:



El subsistema Cerramientos Exteriores, con 1629 intervenciones, aún siendo el más oneroso en cuantía total, tan solo requirió asignar un 37% de los costes a las reparaciones urgentes mientras permitía aplazar un 63% de los mismos. La reparación de las fachadas, salvo en el caso de que hubiese filtraciones, se podían demorar en el tiempo, pues generalmente sólo afectaban a la estética.

El caso de la Cubierta, con 752 intervenciones previstas, demandó en torno el 50% de sus costes a las reparaciones urgentes, generalmente destinados a paliar los casos graves de filtraciones.

El subsistema Acabados Interiores, con 1200 intervenciones, y que como se ha visto está estrechamente vinculado a la deformación excesiva del forjado, supuso únicamente un 16% de los costes destinados a la reparación urgente frente al 84% de los costes diferidos (el forjado afectado acaba estabilizando su flecha). Los daños relativos a la fisuración de tabiquerías y/o pavimentos, a pesar de ser normalmente leves, generan una falsa alarma entre el usuario medio de las viviendas solicitando requiriendo una reparación urgente.

Del caso de la Estructura, con 468 intervenciones y un reparto de costes en torno al 43/57 % cabe resaltar que para el usuario medio, los desconchados, las manchas en el hormigón, la carbonatación e incluso la corrosión, pasaban generalmente desapercibidos y solo eran considerados problemas estéticos de segundo orden.

El subsistema Espacios Comunes, con 624 intervenciones, también significativo en su vinculación con los daños derivados del forjado, siguen una tendencia similar al grupo Acabados Interiores, con una proporción entre costes necesarios a corto y largo plazo del 17 y 83% respectivamente. El arreglo de los daños en las zonas comunes suele ser, junto con las fachadas, una de las peticiones más demandadas por la comunidad de propietarios.

El resto de subsistemas, de menor impacto sobre los costes de reparación, se encuadran en el ámbito del 50/50%.

RESUMEN: Respecto del Coste Total en la reparación de las lesiones, se sitúa sin lugar a dudas los Cerramientos Exteriores como el subsistema más oneroso del edificio. En un alejado segundo término destacan claramente los subsistemas Cubiertas y Acabados interiores. El resto de subsistemas aparecen muy distanciados de los anteriores grupos, incluso la estructura no parece tener a priori una repercusión importante.

Cuando se analiza el Coste Medio por reparación se observa una ordenación de valores muy distinta aún cuando el subsistema Cerramiento sigue siendo el más destacado seguido a cierta distancia de la Cubierta. En este estudio, los subsistemas de instalaciones de agua y electricidad, inicialmente irrelevantes desde otros puntos de vista, adquieren una importancia destacada. En todos los casos, la explicación se encuentra en la componente de partidas específicas dentro del presupuesto: personal especializado, medios auxiliares y dispositivos de protección.

Si en el estudio del Coste Medio de una reparación se tiene en cuenta el periodo en que fue construida la edificación, aparece una tendencia al alza motivada por el propio envejecimiento. La falta de un plan de mantenimiento adecuado por parte de los usuarios, ha conllevado que la mayoría de las lesiones de poca entidad se acabasen convirtiendo en graves, y así, su evolución hace que el coste de reparación se eleve sustancialmente.

Si analizamos el Coste Medio por provincias observamos que el coste medio es relativamente uniforme, presentando una oscilación máxima inferior al 3% entre provincias, por lo que no resulta un valor muy significativo.

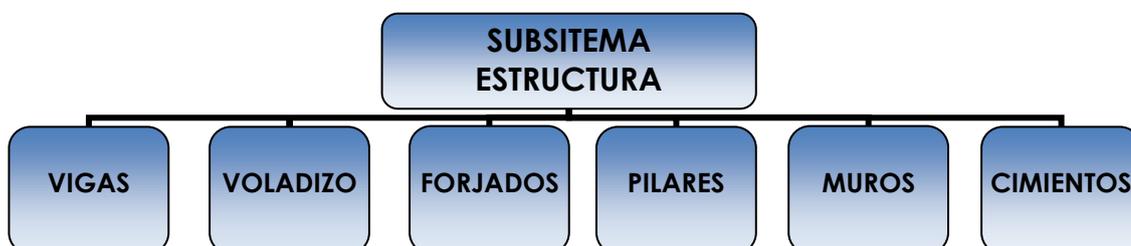
Analizando la proporción entre el coste de reparación de lesiones, urgentes o diferidas, se infiere que los subsistemas Cerramientos, Acabados Interiores y Espacios Comunes (estos últimos muy vinculados a la deformación excesiva del forjado) permiten aplazar la inversión correspondiente al plan de mantenimiento, mientras que en el caso de la cubierta y el resto de subsistemas, el costo de las reparaciones urgentes o diferidas mantienen una proporción en torno al 50%.

## 4.2 –ANÁLISIS DE LA PATOLOGIA GENERAL DE LA ESTRUCTURA

Del capítulo anterior, de entre todos los Subsistemas Constructivos que componían el edificio, se inferían las siguientes cuestiones sobre la ESTRUCTURA:

- Es el Subsistema del edificio que de forma directa e indirecta genera el mayor número de lesiones de todo el edificio.
- Los condicionantes geográficos y las técnicas constructivas locales inciden en la tipología de las lesiones estructurales.
- Para comprender la evolución de la patología estructural en el período estudiado es necesario relacionarla con la evolución de su normativa específica.
- A mayor entidad edificatoria y mayor complejidad constructiva, el número de lesiones crece rápidamente.
- La repercusión económica en la reparación de daños estructurales directos es relativamente inferior a otros subsistemas constructivos salvo cuando se consideran los costes de arreglar daños colaterales (fisuración de tabiques, levantamiento de pavimentos, etc.).

Demostrada la relevancia de la patología del Subsistema Estructura en el conjunto del edificio, en este apartado se procede con el análisis estadístico centrado exclusivamente en el ámbito de la estructura, con el fin de contrastar y valorar las lesiones de los principales elementos estructurales:



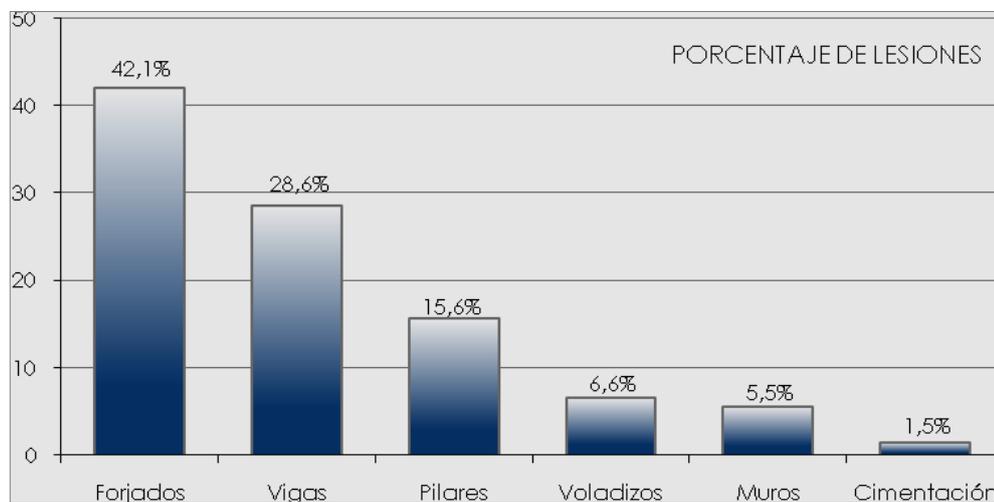
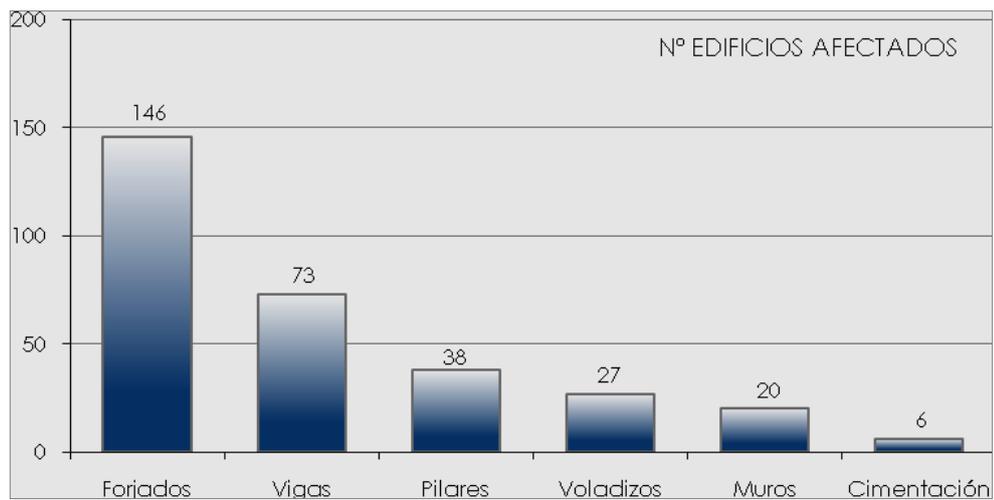
A lo largo de este apartado se procede a demostrar que el forjado de hormigón armado es el elemento más vulnerable de todos los inspeccionados, antes de continuar con su patología particularizada, que es el núcleo de esta tesis.

Aclarar que si bien el recurso de la Estadística Corregida ha permitido reasignar al Subsistema Estructura los daños que erróneamente habían sido atribuidos a los Subsistemas Acabados Interiores y Espacios Comunes (principalmente pavimentos, tabiquerías y falsos techos), no ha permitido discernir los porcentajes individualizados que afectan a cada uno de los elementos estructurales, por lo que las tablas y gráficos mostrados en este capítulo están basados en la Estadística Inicial proporcionada por la base de datos del programa DicTec.

**ANÁLISIS 4.6:** Si se observan los resultados generales del estudio gallego ordenando los elementos afectados del Subsistema Estructura, tanto por el porcentaje de sus lesiones (sobre 468 informadas) como por el número de edificios dañados (310 sobre la muestra inicial de 746 edificios), queda de la siguiente forma:

Tabla 4.6a	
PORCENTAJE DE LESIONES POR ELEMENTO ESTRUCTURAL (muestra: 468 lesiones)	
ELEMENTO ESTRUCTURAL	%
Forjados	42.1
Vigas	28.6
Pilares	15.6
Voladizos	6.6
Muros	5.5
Cimentación	1.5

Tabla 4.6b	
NUMERO DE EDIFICIOS DAÑADOS POR ELEMENTO ESTRUCTURAL (muestra: 310 edificios)	
ELEMENTO ESTRUCTURAL	Nº
Forjados	146
Vigas	73
Pilares	38
Voladizos	27
Muros	20
Cimentación	6



- FORJADOS: Sin duda alguna es el elemento estructural más vulnerable según los datos estadísticos con un 42,1% de lesiones (sobre 468) y 146 edificios afectados (sobre 310); es decir, casi la mitad presentaban daños en sus forjados.

Además, como se ha visto en el capítulo anterior, la trascendencia de la patología de este elemento estructural es muy importante por cuanto indirectamente ha causado numerosos daños a las tabiquerías y pavimentos de los Acabados Interiores y Espacios Comunes. En la foto de la derecha, un caso de rotura por retracción.



En cualquier caso hay que hacer una lectura cauta por cuanto en términos generales, en una inspección meramente visual, al hablar de un forjado con deformación excesiva, es difícil discernir o asignar el problema a los propios nervios del paño y/o a las vigas portantes, especialmente en el caso de forjados con vigas planas.

- VIGAS: El estudio lo sitúa como el segundo elemento más sensible, arrojando un 28,6% de lesiones (sobre 468) con 73 edificios afectados (sobre 310), esto se traduce en un 23,5% del total de la muestra estudiada.

En la práctica de las inspecciones se ha podido comprobar que el uso indiscriminado de las vigas planas ha generado el mayor número de problemas de deformación aunque con los valores numéricos no es posible reflejarlo estadísticamente.

En la foto, rotura de una viga por fenómenos de torsión.



- PILARES: Las lesiones suponen un 15,6% (sobre 468), siendo 38 los edificios afectados (sobre 310), es decir, un 12,3% de incidencia en la muestra estudiada.

Se debe aclarar que, para comprender la alta incidencia de daños en los pilares, éstos deben contemplarse desde la perspectiva de piezas de hormigón generalmente desprotegidas, es decir, expuestas al ataque químico, y no desde la perspectiva de un elemento portante con síntomas de agotamiento.



- VOLADIZOS: Se recogieron un 6,6% de las lesiones (sobre 468) agrupadas en 27 de estructuras (sobre 310), es decir, una incidencia del 8,7% de los edificios.

Cabe recordar que, dadas las características específicas de la edificación residencial, los voladizos rara vez presentan luces superiores a 1,25m por lo que a priori no deberían ser un elemento problemático ni en cuanto a deformaciones ni en cuanto a resistencia; sin embargo, habitualmente sí son elementos muy expuestos al ataque químico exterior, como el de la foto.



- MUROS: El número de lesiones suponen un 5,5%, (sobre 468) repartido entre 20 edificios (sobre 310), es decir, un 6,4% del total de la muestra.

Son valores similares al caso de los voladizos, aunque resulta revelador que en realidad, la superficie de muros inspeccionados es muy superior a aquellos. En la mayor parte de los muros inspeccionados, éstos correspondían a un único sótano.



- CIMENTACIÓN: Tenemos un 1,5% de lesiones (sobre 468) que han afectado tan solo a 6 edificios (sobre 310), lo que se traduce en un 1,9% del total de la muestra.

Representa un porcentaje mínimo de daños sobre el subsistema estructura.

En la foto, rotura del cerramiento y del falso techo debida a un reciente asiento de cimentación.



RESUMEN: la conclusión esencial que se infiere es que el forjado de hormigón armado ha sido, con gran diferencia de entre todos los elementos estructurales analizados, el más vulnerable de la estructura.

Además, se recuerda su repercusión sobre otros elementos constructivos (tabiquerías, falsos techos y pavimentos principalmente) lo cual ha acentuado el problema de la patología global del edificio.

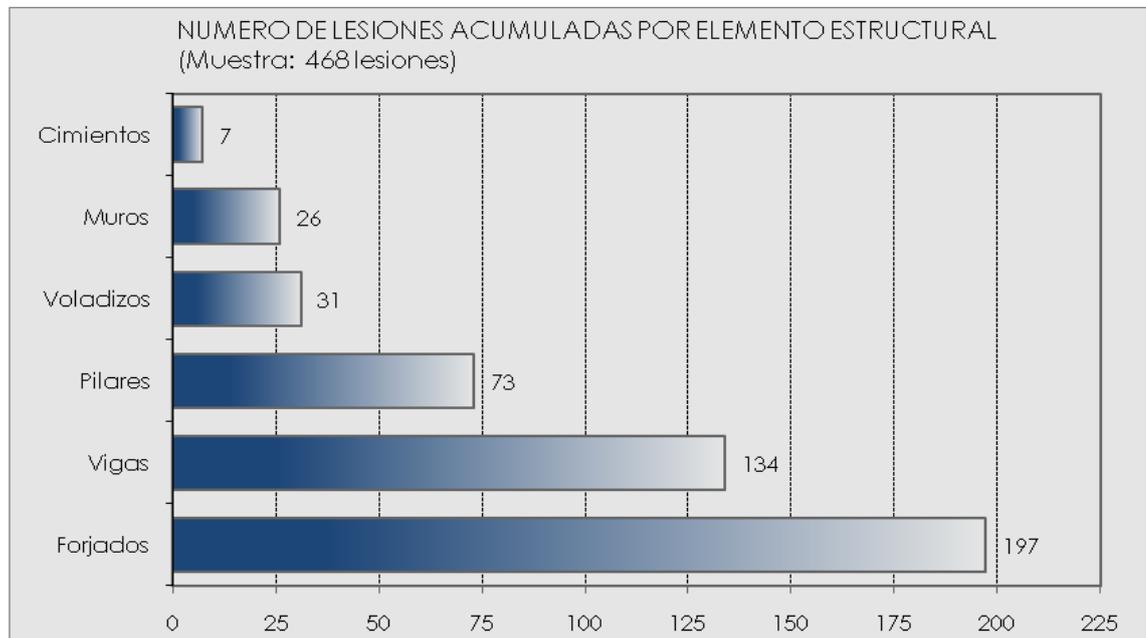
Hay que añadir que las inspecciones ha resultado muy significativa la patología por deformación excesiva en el caso de los forjados con vigas planas, si bien los datos estadísticos manejados no pueden diferenciar las lesiones asociadas al uso de vigas planas o a las de canto.

Las lesiones asignadas exclusivamente al elemento Vigas se sitúan, bastante alejados, en un segundo orden de importancia. No obstante, vigas planas y forjados conforman un sistema estructural único en la mayoría de los casos.

Los Pilares y Voladizos estarían en un tercer escalón, mientras que los Muros y la Cimentación tienen una incidencia mínima en el cómputo global de la patología estructural.

**ANÁLISIS 4.7:** Con el fin de obtener una visión completa de la patología de los elementos estructurales, se presentan simultáneamente los resultados estadísticos de la Sintomatología y las Causas de las lesiones; para su mejor comprensión, los análisis de ambas variables se presentan asociados.

Con el fin de entender las tablas y las gráficas posteriores, se contrastan a continuación los casos de patología estructural que se recogieron durante el proceso de inspección técnica, sobre la muestra de 468 lesiones en el ámbito de los 310 edificios estructuralmente afectados:



Todos los valores expuestos hay que entenderlos como tendencias significativas, asumiéndolos con cautela y no quedándose en el simple dato numérico, puesto que en muchas ocasiones las lesiones, con sus síntomas y sus causas, han aparecido combinadas y el dato que se aporta es el principal, pero no el único.

A continuación (Tablas 4.7ª/ 4.7b) se muestra un doble análisis, sintomatología y causas, del número de casos encontrados por elemento estructural, destacando los valores más representativos.

Con vistas a interpretar los gráficos siguientes cabe anticipar que, si bien quedó explicado (ver aptdo. 2.3.2.2c) que la carbonatación no es en sí misma una sintomatología, sino el resultado de un proceso específico de ataque químico, se ha simplificado como tal dada su relevancia en el presente trabajo.

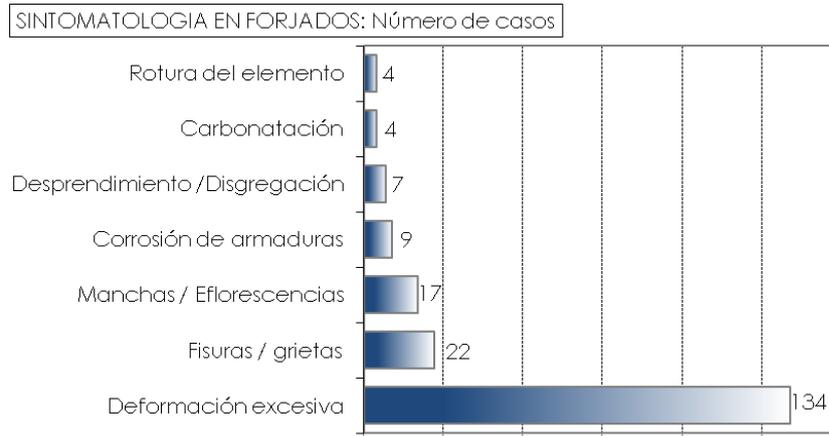
Tabla 4.7a						
SINTOMATOLOGÍA: NUMERO DE CASOS POR ELEMENTO ESTRUCTURAL (muestra: 468 lesiones)						
SINTOMAS (*)	Forjados	Vigas	Pilares	Voladizos	Muros	Cimiento
Deformación excesiva	134	58	0	12	0	0
Fisuras / grietas	22	30	13	5	4	0
Manchas / Eflorescencias	17	5	0	2	9	0
Corrosión	9	23	23	6	4	0
Desprendimiento /Disgregación	7	4	11	2	3	0
Carbonatación	4	12	22	4	0	0
Rotura	4	2	2	0	1	0
Inestabilidad	0	0	2	0	5	0
Hundimiento	0	0	0	0	0	7
TOTAL DE LESIONES	197	134	73	31	26	7

(\*) En los datos se indica sólo el síntoma principal asignado a cada lesión.

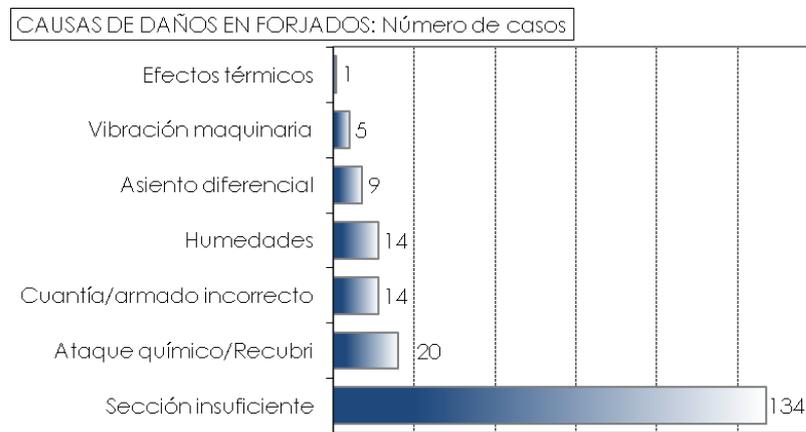
Tabla 4.7b						
CAUSAS: NUMERO DE CASOS POR ELEMENTO ESTRUCTURAL (muestra: 468 lesiones)						
CAUSAS (*)	Forjados	Vigas	Pilares	Voladizos	Muros	Cimiento
Sección insuficiente	134	59	0	13	0	0
Ataque químico/Recubrimiento	20	44	62	10	2	0
Cuantía / armado incorrecto	14	16	7	6	0	0
Humedades	14	5	3	2	11	0
Asiento diferencial	9	7	0	0	3	7
Vibración maquinaria	5	0	0	0	0	0
Efectos térmicos	1	1	1	0	0	0
Empuje terreno	0	0	0	0	5	0
Encofrado / Horm. defectuoso	0	2	0	0	5	0
TOTAL DE LESIONES	197	134	73	31	26	7

(\*) En los datos se indica sólo la causa principal asignada a cada lesión.

- FORJADOS: Sobre la muestra de 197 lesiones, se estudia la patología específica de este elemento en el capítulo siguiente, pero de la tabla inferior ya se puede concluir que la sintomatología principal ha sido, de forma abrumadora la deformación excesiva, causada por la sección insuficiente, con 134 casos:

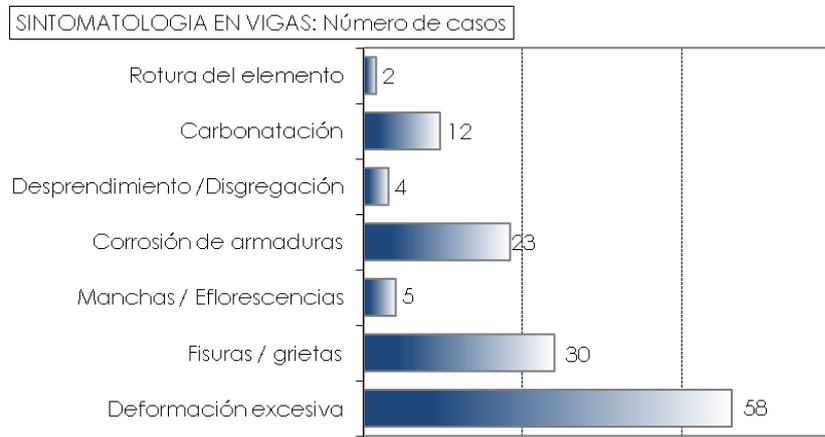


Cuando la deformación sobrepasa ciertos valores no compatibles con otros elementos constructivos comienzan a manifestarse las fisuraciones de bovedillas, tabiquerías y revestimientos que en realidad, sin ser lesiones graves, son los síntomas que generan mayor alarma entre los propietarios.



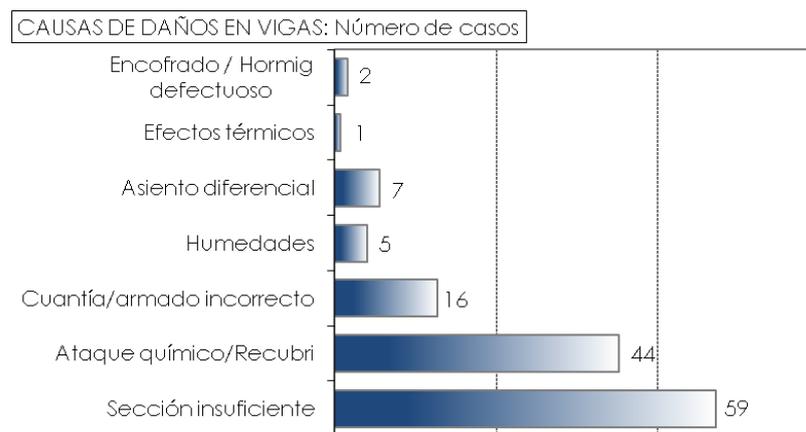
También se puede concluir que la degradación del hormigón por el ataque químico (manchas, corrosión, desprendimientos y carbonatación), ya sea por falta de protección en elementos vistos o como consecuencia de las filtraciones en forjados de patios y terrazas, ha sido otra de las causas comunes.

- VIGAS: sobre la muestra de 134 lesiones, entre la sintomatología detectada, la deformación excesiva y, en menor medida las fisuraciones localizadas, adquieren mayor relevancia en el interior del edificio, mientras que la corrosión de armaduras y la carbonatación superficial se acentúan en el caso de las vigas expuestas:



En algún caso concreto se ha detectado una rotura parcial por cortante; sin embargo, posteriormente, se pudo verificar que fue motivada por la escasez inexplicable de cercos. Sin embargo no se ha detectado ningún caso de agotamiento estructural por flexión ni torsión.

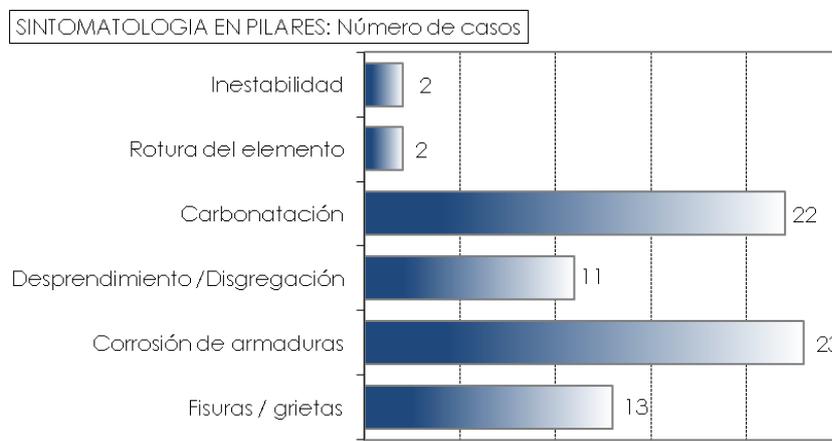
Entre las causas de las lesiones destaca la sección insuficiente vinculada a la deformación excesiva de las vigas planas y el ataque químico unido al recubrimiento insuficiente en elementos expuestos.



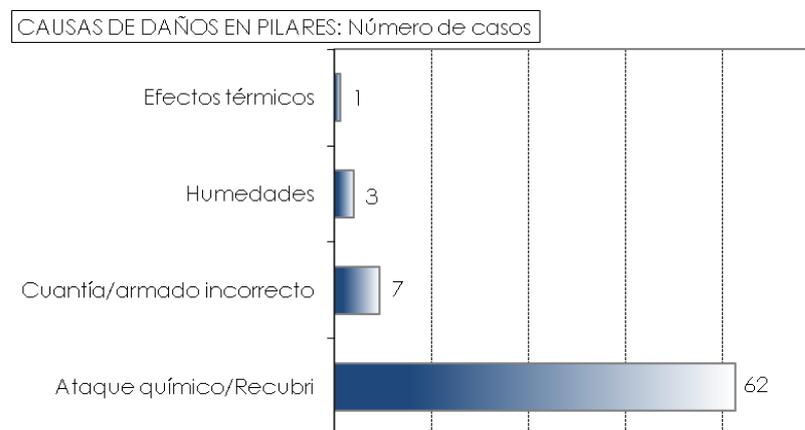
- PILARES: Entre la sintomatología detectada, sobre la muestra de 73 lesiones, destacan la carbonatación y la corrosión de armaduras en pilares expuestos, sobre todo en soportales de planta baja y en sótanos húmedos.

Asociada a la corrosión, se han detectado diversos casos de la típica fisuración longitudinal y el posterior desprendimiento del recubrimiento.

En dos casos concretos, uno de ellos muy grave en un edificio de Vigo, se habían detectado síntomas de fisuración longitudinal que finalmente se diagnosticaron como agotamiento por compresión; evidentemente, este caso requirió una intervención inmediata (el acuerdo de confidencialidad con el IGVS impide profundizar en este tipo de cuestiones).



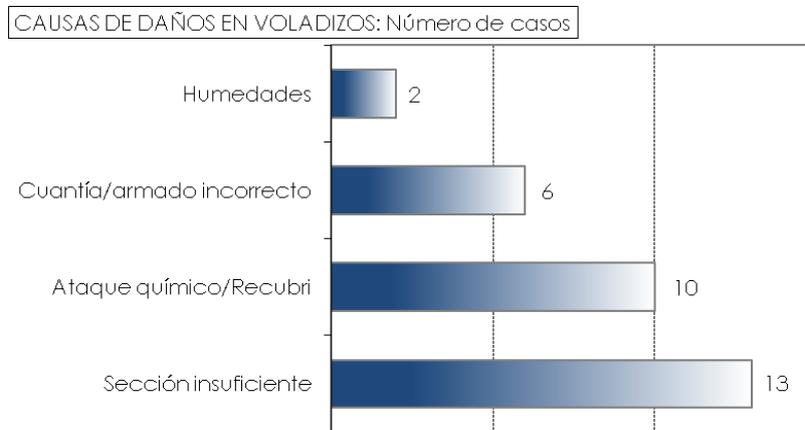
Entre las causas de las lesiones destaca con amplitud el ataque químico unido al recubrimiento insuficiente en los pilares. Si bien no implicaba gravedad en sus primeras etapas de desarrollo, a largo plazo pueden evolucionar hasta suponer un problema de cierta envergadura:



- VOLADIZOS: Entre la sintomatología detectada (sobre la muestra de 31 lesiones), destaca la deformación excesiva en las plantas inferiores por efecto de los arcos de descarga desde el vuelo superior al vuelo inferior, así como la carbonatación, la corrosión y carbonatación derivados del ataque químico en los voladizos de balcones expuestos.

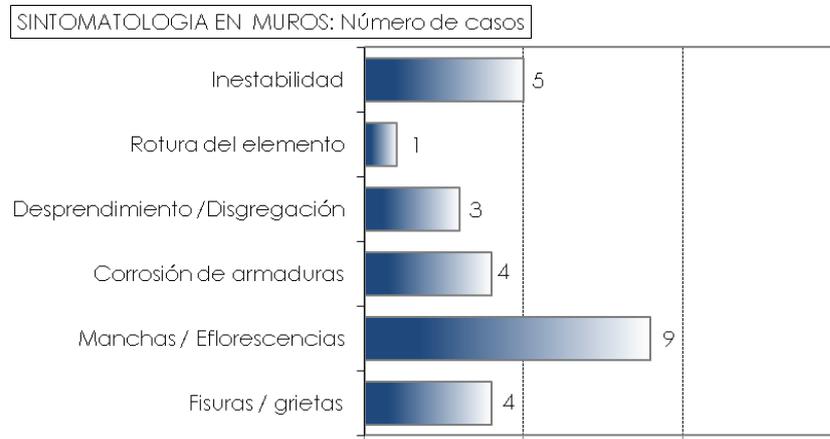


Entre la causa origen de los daños destacan tanto la sección insuficiente como el ataque químico en los voladizos expuestos; en menor medida, los problemas de cuantías y/o armado incorrecto.



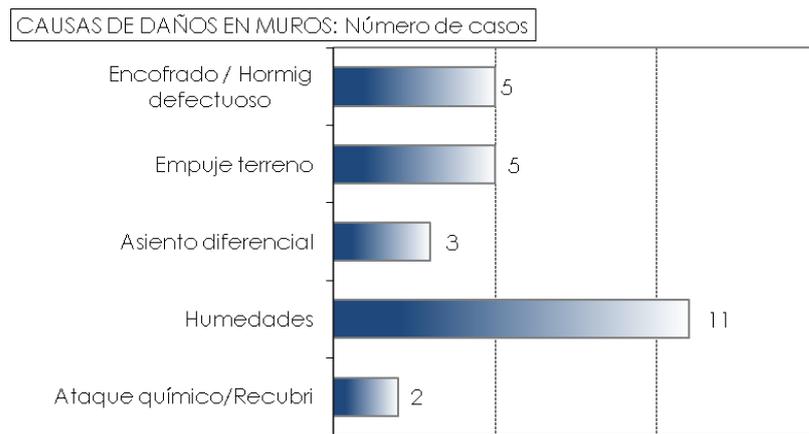
Si bien es cierto que en la mayoría de los casos estudiados la relevancia estructural era baja también es cierto que la fisuración asociada de los cerramientos soportados ha podido suponer vías de entrada de agua que generaron problemas constructivos importantes en el interior de la vivienda.

- MUROS: Entre la sintomatología detectada (sobre la muestra de 26 lesiones), destacan las manchas y eflorescencias en los elementos de sótanos y, en menor medida, pequeños giros locales y la corrosión puntual de armaduras.



La causa principal de los daños en los muros recae sobre las filtraciones de agua procedentes del terreno, bien por falta de un drenaje adecuado o bien por el uso de hormigones pobremente ejecutados, con pequeñas coqueras.

En un segundo término se han detectado algunos casos de leves pérdidas de aplomado por errores constructivos durante el encofrado. Tan solo se ha inspeccionado un caso relativamente importante debido al empuje del terreno sobre un muro en ménsula adyacente a la rampa del garaje (proyectado en su momento como muro de sótano).



Hay que decir que los daños en muros tanto de plantas bajas como en sótanos rara vez generan alarma o preocupación entre los usuarios.

- **CIMENTACIÓN:** Entre la sintomatología detectada sólo cabe reseñar siete lesiones vinculadas a asientos diferenciales de escasa entidad, y dada la ausencia generalizada de estudios geotécnicos en el período estudiado, este dato resulta indicativo de la buena capacidad portante de nuestro subsuelo en términos generales.

Resulta relevante resaltar que, si bien la cimentación arroja un porcentaje de lesiones del 1,50% (Tabla 4.6) entre todos los elementos estructurales del edificio, los asientos diferenciales son el origen de un 5,6% de las lesiones constructivas sobre vigas, forjados, tabiques e incluso pilares.

En este estudio significa, tomando esta apreciación con suma cautela, que la relación entre ambos datos refleja que un fallo en la cimentación repercute en un 370% sobre los elementos estructurales directamente vinculados; estos datos estadísticos verifican un hecho que cualquier técnico sabe pero que, hasta donde alcanza nuestro conocimiento, estaba sin cuantificar.

**RESUMEN - SINTOMATOLOGÍA:** de este análisis se puede inferir que la deformación excesiva (44%) y la degradación del hormigón armado (36%) engloban el 80% de la sintomatología estructural.

Si se considera la realidad física de la estructura horizontal compuesta de vigas, voladizos y forjado se computan 362 lesiones (sobre un total de 468), lo cual acumula más del 75% de los daños de la estructura global de hormigón.



En un segundo orden de relevancia se detecta un 36% de sintomatología propia de la degradación del material (carbonatación, corrosión metálica, manchas, eflorescencias, desprendimientos o disgregaciones). Esto sucede puesto que dichos síntomas, tal como se explicó previamente, se pueden englobar en un proceso único y continuo en el tiempo.



En un tercer puesto aparecen las fisuraciones resultantes de sobre esfuerzos mecánicos con tan solo el 16% de los casos, lo que nos lleva a la interesante conclusión de que la patología estudiada se debe más a criterios erróneos de diseño que a errores propios de un mal cálculo.



Si bien se analizará la gravedad de las lesiones más adelante, cabe adelantar que no se ha detectado en ningún caso la rotura, la inestabilidad o el hundimiento del elemento, los cuales sí serían síntomas realmente graves desde el estricto punto de vista estructural.

RESUMEN - CAUSAS: en este análisis podemos concluir que la sección insuficiente (en forjados, vigas y voladizos) origina en torno al 45% de los daños, mientras que el ataque químico causa del orden del 30% de los mismos.

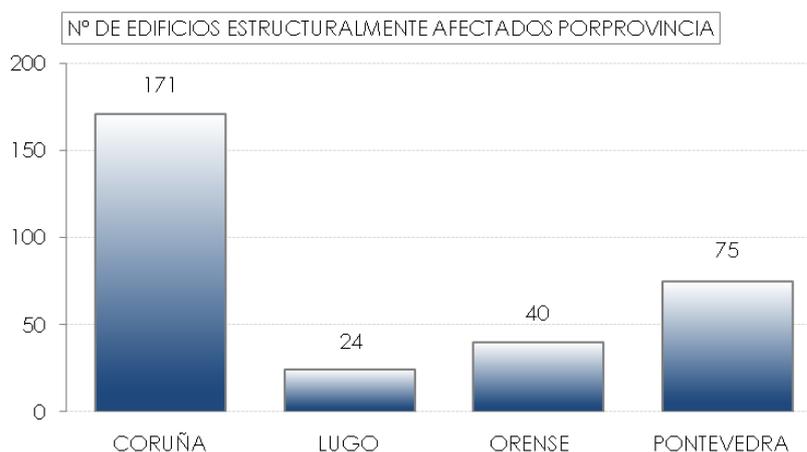
En un menor orden de importancia los problemas de cuantía insuficiente o armado incorrecto causarían del orden del 10% de daños y las humedades (filtraciones, capilaridad y/o condensaciones) comprenden el 8% de ellos.

Los problemas originados por asentamientos diferenciales, las vibraciones por maquinarias, los efectos térmicos, el empuje horizontal del terreno, así como los problemas de hormigonado y/o encofrado incorrecto, presentan porcentajes prácticamente irrelevantes (4%).

**ANÁLISIS 4.8:** En este apartado se desglosa el número de edificios afectados y el porcentaje de las lesiones detectadas, por elementos estructurales y por provincias, con el fin de extraer conclusiones:

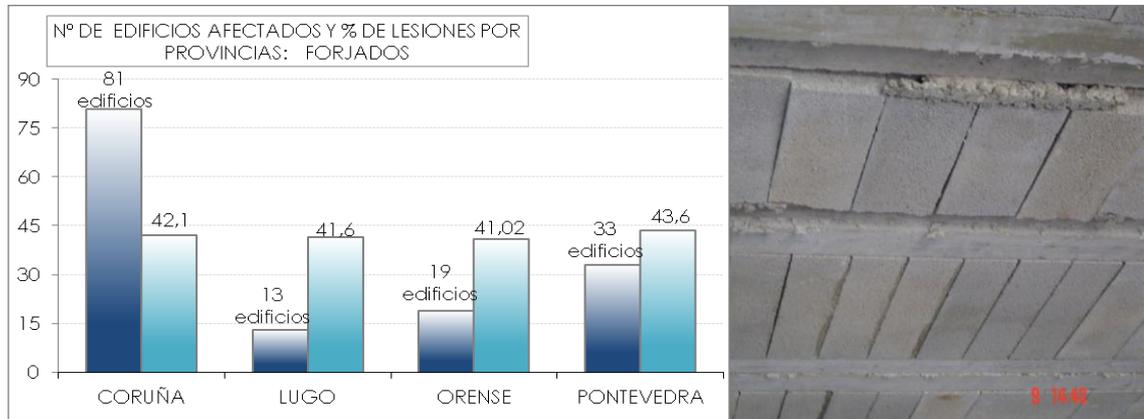
Tabla 4.8								
INCIDENCIA DE EDIFICIOS AFECTADOS POR ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y POR PROVINCIAS (muestra: 310 edificios)								
ELEMENTO ESTRUCTURAL	SITUACIÓN GEOGRÁFICA							
	CORUÑA		LUGO		ORENSE		PONTEVEDRA	
	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
Forjados	81	42,13	13	41,65	19	41,02	33	43,58
Vigas	40	29,36	5	28,04	9	27,72	19	29,41
Pilares	21	15,21	3	15,83	5	15,37	9	16,00
Voladizos	15	6,37	2	6,68	3	6,35	7	7,06
Muros	11	5,41	1	7,80	3	7,46	5	1,53
Cimentación	3	1,52	0	0,00	1	2,08	2	2,42
TOTAL	171	100%	24	100%	40	100%	75	100%

De entrada se observa que la incidencia de la patología estructural es muy superior en aquellas provincias en las cuales la muestra representativa (ver 3.1.3) se sitúa preferentemente en ciudades de la franja costera: Pontevedra, Vigo, Coruña y Ferrol.



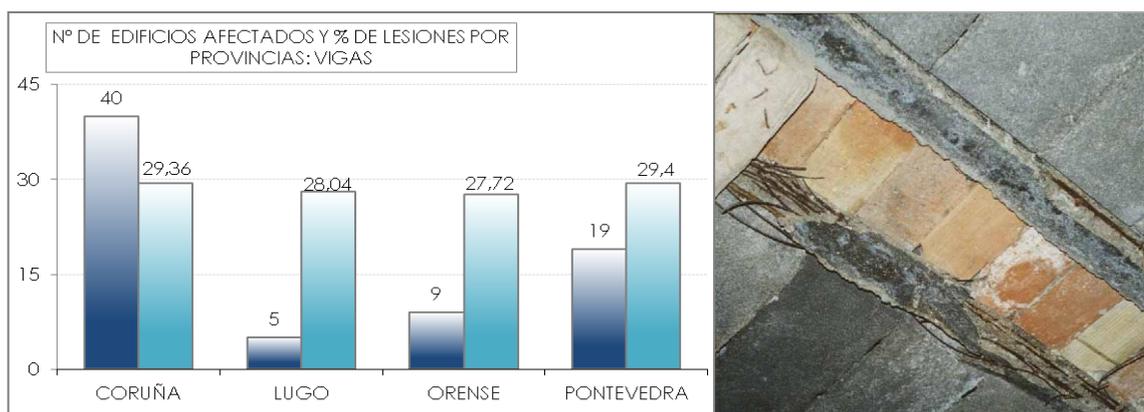
Esta distribución está íntimamente relacionada con el análisis anterior, donde se concluía que el ataque químico ambiental causaba del orden del 30% de los casos de patología estructural en los elementos expuestos.

- FORJADOS: Sobre la muestra de 310 edificios, se observa que, incluso realizando el análisis desglosado por provincias, este elemento estructural sigue siendo sin lugar a dudas el más vulnerable, tanto desde el punto de vista del número de edificios afectados como en los valores porcentuales de lesiones.



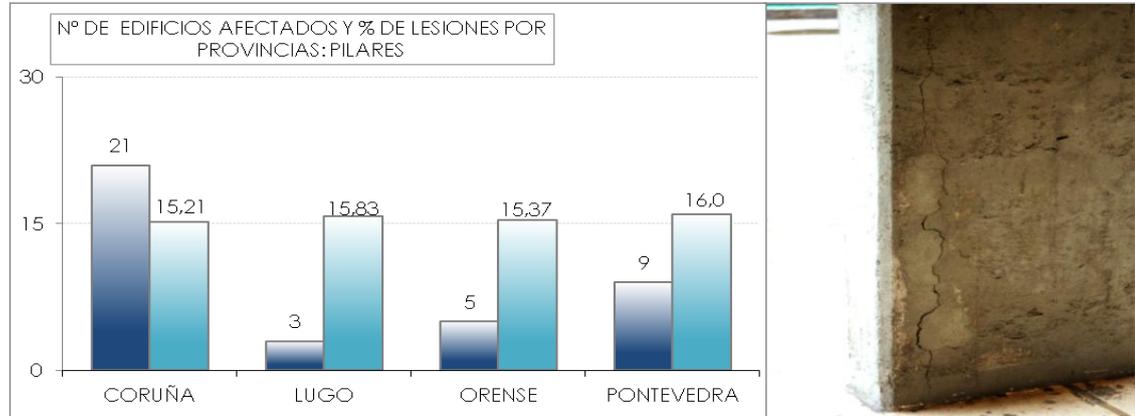
Si bien el número de edificios afectados es muy diferente en cada zona geográfica al estar en función del número de individuos de la muestra, la media porcentual de daños es bastante uniforme en torno al 42%. La conclusión es inmediata: el problema de la deformación excesiva del forjado asociada al canto insuficiente resulta independiente de la situación geográfica en el ámbito gallego.

- VIGAS: Sobre la muestra de 310 edificios, en el análisis pormenorizado por provincias sigue ocupando el segundo lugar en el orden de importancia de elementos estructurales.



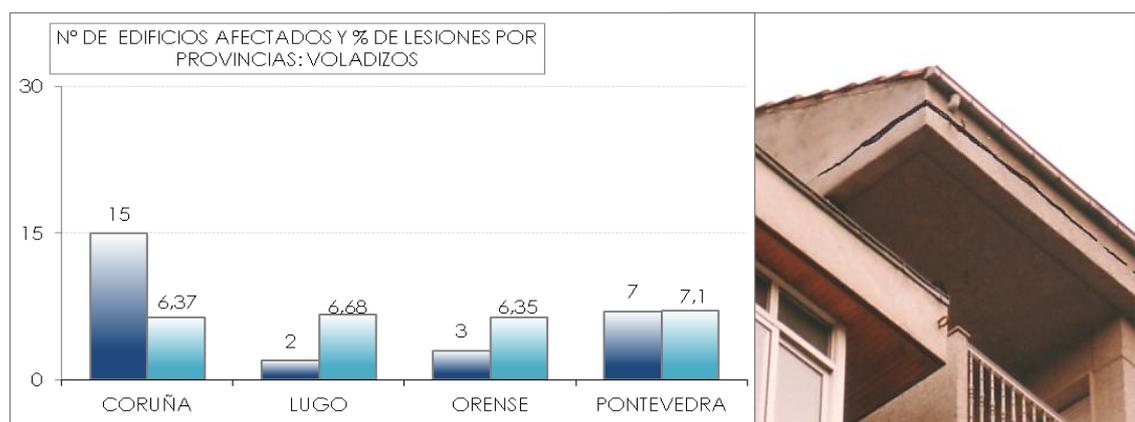
Los resultados son bastante uniformes en toda el área geográfica, con una media en torno al 28% de lesiones, con un leve incremento en las provincias costeras, al acumularse las lesiones por deformación excesiva de las vigas y las derivadas del ataque químico en los elementos expuestos.

- **PILARES:** Sobre la muestra de 310 edificios, comparando los resultados se muestran valores uniformes en toda el área geográfica, con una media en torno al 15,6% de los daños.



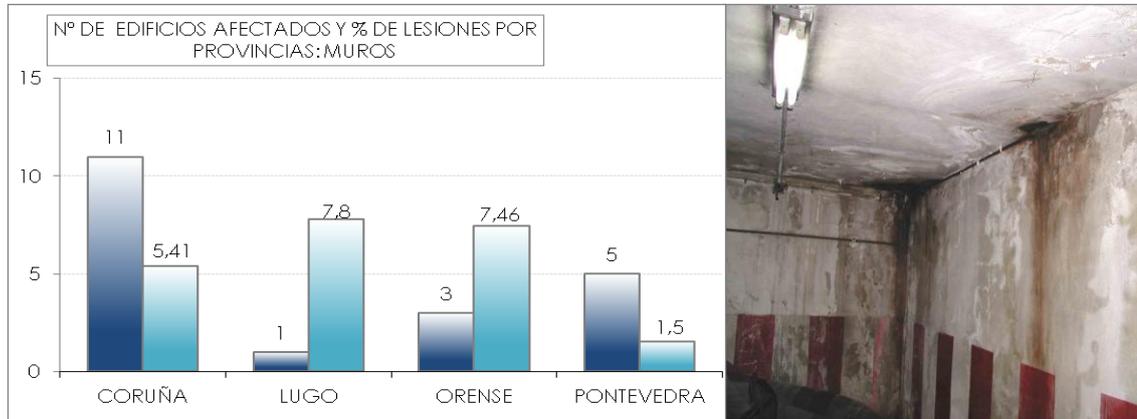
Como se ha visto anteriormente, el mayor problema que afecta a los pilares es el ataque químico (procesos de carbonatación, corrosión de armaduras, etc.). Sin embargo, en este caso, tan solo hay un leve aumento de daños en el área costera de Pontevedra con respecto al interior, pero no así en la zona norte de Coruña. La influencia de las condiciones higrométricas y de los vientos predominantes del oeste que afectan en mayor medida a los edificios de las zonas de Pontevedra y Vigo es la explicación a este ligero repunte.

- **VOLADIZOS:** Sobre la muestra de 310 edificios, los resultados también son similares en toda el área gallega, la media se sitúa en torno al 6,6% de los daños, aunque se observa un ligero incremento en el área costera de Pontevedra.



Los comentarios realizados en el apartado de pilares mantienen su validez para este elemento estructural.

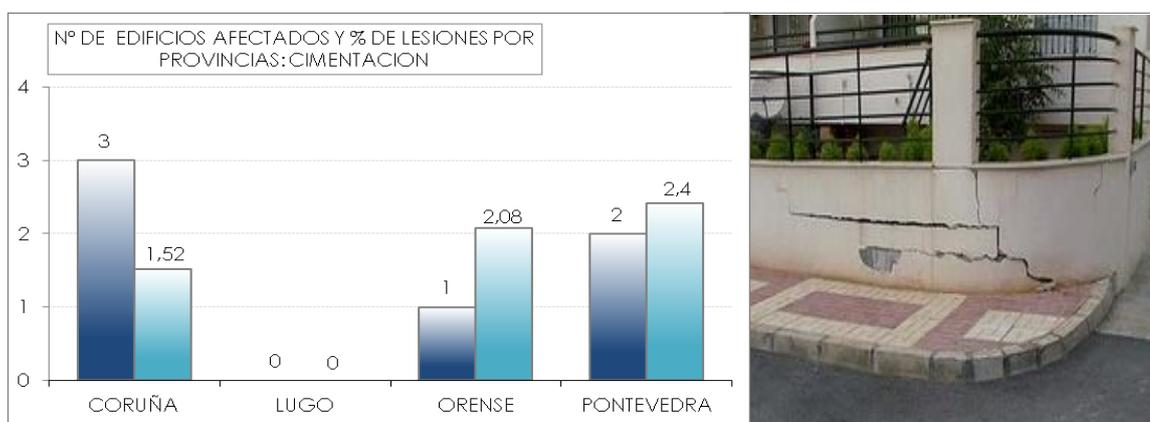
- MUROS: En este caso, los porcentajes de las lesiones son relativamente dispares en función del área geográfica, dado que la media es del 5,5%.



Ya se ha concluido anteriormente que la mayor parte de los daños detectados en muros se debían a filtraciones procedentes del terreno y, en términos generales, el índice de edificios con un sótano es uniforme en toda la muestra.

La explicación a esta distribución se basa en la concentración urbana de las provincias de Coruña y Pontevedra (calles urbanizadas con sistemas de alcantarillado y recogida de pluviales) frente a la dispersión edilicia en las de Orense y Lugo (con terrenos de libre escorrentía inmediatamente adyacentes a las edificaciones).

- CIMENTACIÓN: Dado el escaso número de edificios afectados y los bajos índices de lesiones detectadas, de los resultados obtenidos no se pueden extraer conclusiones significativas. Tan solo apuntar que los terrenos de cimentación, en términos generales, son mejores en el interior de Galicia (geológicamente basados en granodioritas y esquistos) que en las franjas costeras (sedimentos limo arenosos)



**RESUMEN:** Se concluye que en el caso de los forjados, vigas y voladizos, la afección por deformación excesiva del forjado asociada al canto insuficiente es prácticamente uniforme en toda el área gallega, esto es, el problema resulta independiente de la situación geográfica del edificio.

No obstante, en el caso de vigas y voladizos, se observan valores ligeramente por encima de la media en las provincias de Coruña y Pontevedra, al acumular éstas la mayoría de sus edificaciones en las franjas costeras y, por lo tanto, se incrementan los daños comentados con los casos de la patología asociada a la degradación del hormigón expuesto al ataque químico marino.



En el caso de los pilares, al ser su mayor problemática el ataque químico, se verifica un leve aumento de daños en el área costera de Pontevedra con respecto a las provincias del interior, pero no así en la costa norte de Coruña. La influencia de las condiciones higrométricas y de los vientos predominantes del oeste que afectan en mayor medida a Galicia, y por lo tanto a los edificios de las zonas de Pontevedra y Vigo, son la explicación a este ligero repunte.



Los muros de sótano, cuyos daños más relevantes se deben a filtraciones y humedades procedentes del terreno, arrojan resultados relativamente dispares en función del área geográfica. Esto se debe a la concentración urbana en las provincias de Coruña y Pontevedra (calles urbanizadas con sistemas de alcantarillado y recogida de pluviales) frente a la dispersión edilicia en Orense y Lugo (con terrenos de libre escorrentía inmediatamente adyacentes a las edificaciones).



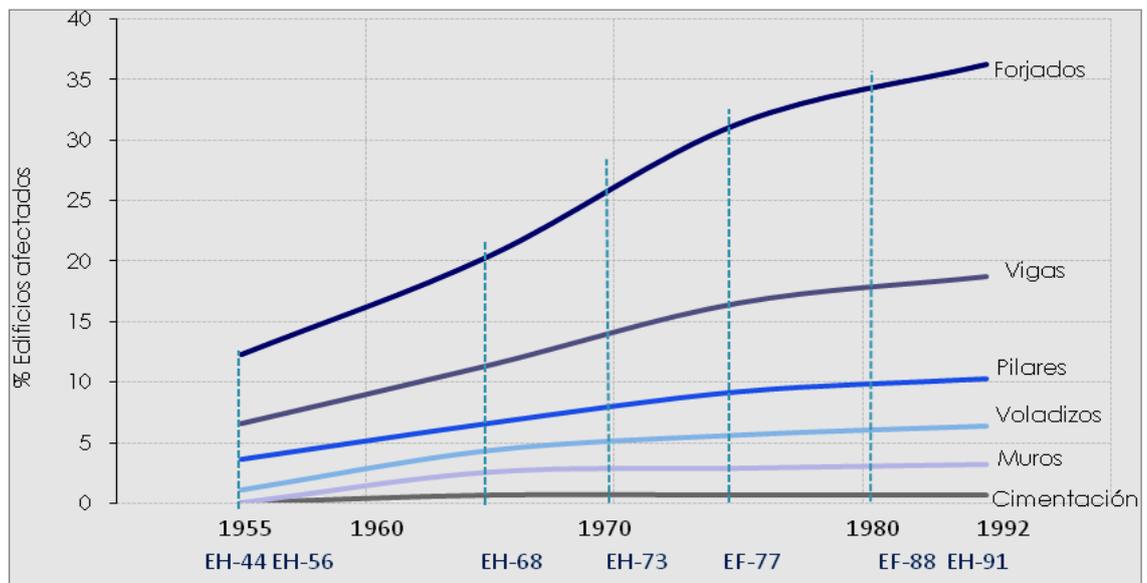
Con respecto a la cimentación no se pueden extraer conclusiones significativas dado el irrelevante número de edificios afectados y los índices tan reducidos de lesiones detectadas.

**ANÁLISIS 4.9:** En esta tabla se desglosan tanto el número de edificios afectados como el porcentaje de lesiones por elementos estructurales por su antigüedad, con el fin de extraer ciertas conclusiones:

Tabla 4.9								
INCIDENCIA DE EDIFICIOS AFECTADOS POR ÉPOCA CONSTRUCTIVA (*) (muestra: 310 edificios)								
ELEMENTO ESTRUCTURAL	PERÍODO DE CONSTRUCCIÓN							
	1955 1960		1960 1970		1970 1980		1980 1992	
	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
Forjados	18	5,77	28	9,03	46	14,74	54	17,42
Vigas	9	2,89	15	4,79	23	7,37	26	8,51
Pilares	8	2,58	7	2,26	11	3,55	12	3,87
Voladizos	3	1,07	5	1,77	8	2,73	10	3,15
Muros	0	0,00	6	1,94	7	2,26	8	2,58
Cimentación	0	0,00	2	0,65	2	0,61	2	0,70
TOTAL DE EDIFICIOS	38		63		97		112	

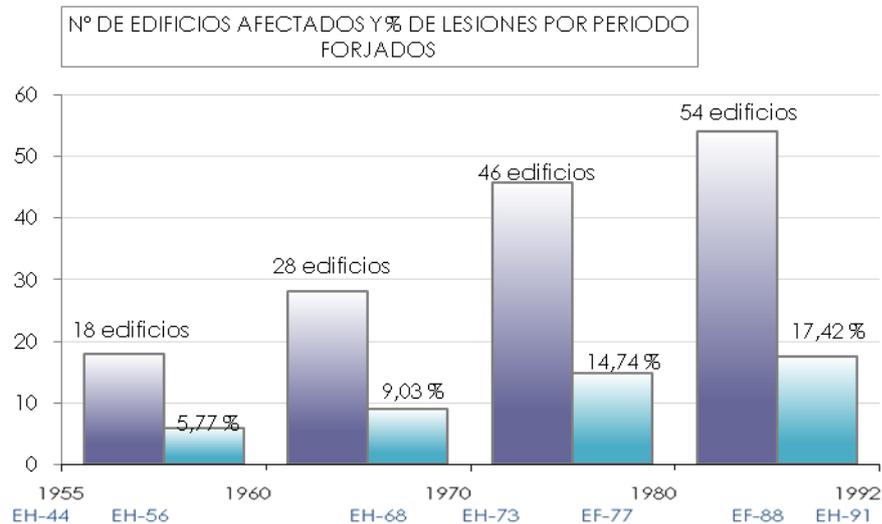
En términos generales se confirma que, lógicamente, a mayor antigüedad, los elementos estructurales acumulan más lesiones; sin embargo, el incremento de los daños con el tiempo no afecta igual a todos los elementos estructurales.

Si lo estudiamos por líneas de tendencia se manifiesta inmediatamente la fuerte evolución al alza de la patología de forjados, en menor medida la de vigas y con un crecimiento relativamente contenido el resto de elementos:



Nótese la correlación con la normativa de cada época así como el fuerte crecimiento de la patología del forjado a finales de los sesenta, coincidiendo con la irrupción en la estructura de la viga plana.

- FORJADOS: El resultado sobre la muestra es contundente, observándose una tendencia al alza muy acusada en el número de edificios afectados y sus lesiones. Confirma la realidad recogida por los informes de principios de los ochenta emitidos por la Comisión Permanente del Hormigón sobre el aumento de la patología en forjados y la necesidad urgente de revisar la normativa:



Basta recordar que en el período de 1955-60 comenzaba a utilizarse el forjado de hormigón armado de forma generalizada y, aunque el canto habitual era del orden de 16 a 18cm., las luces de los paños eran muy contenidas y rara vez superaban los 4,50m. En este primer periodo también ayudaba a minimizar el problema de la deformación la profusión de la tabiquería imperante, las holgadas vigas de canto y las limitadas alturas de los edificios.

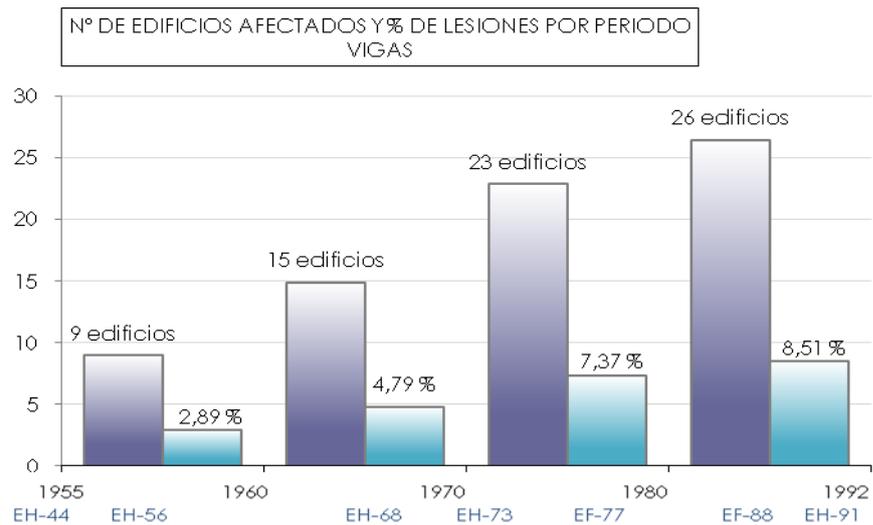
Sin embargo, en el segundo período 1960-70, empiezan a aumentar las luces de los paños sin que paralelamente se produzca un aumento significativo del canto; igualmente aumentan las alturas del edificio y los bajos se proyectan libres para garajes o locales comerciales, generando el conocido problema de los arcos de descarga (desde las plantas superiores a las inferiores).

En los primeros años del tercer período 1970-80 comienza a extenderse de forma exhaustiva el empleo de las vigas planas con canto reducido a la par que siguen aumentando las luces; a partir de aquí, los problemas derivados de la deformación excesiva ya eran un hecho cotidiano en edificación. Como ejemplo representativo, citar que recientemente hemos tenido que resolver un tema relacionado con una viga plana de 110x22cm y de 5,65m de luz en un edificio de viviendas en Ferrol, de 1972.

En el cuarto periodo de 1980-92 continuaron los mismos problemas hasta la entrada en vigor de la EF-88 donde, además, se abordaría el tema de la fluencia y la flecha diferida. Lamentablemente no se tienen datos estadísticos

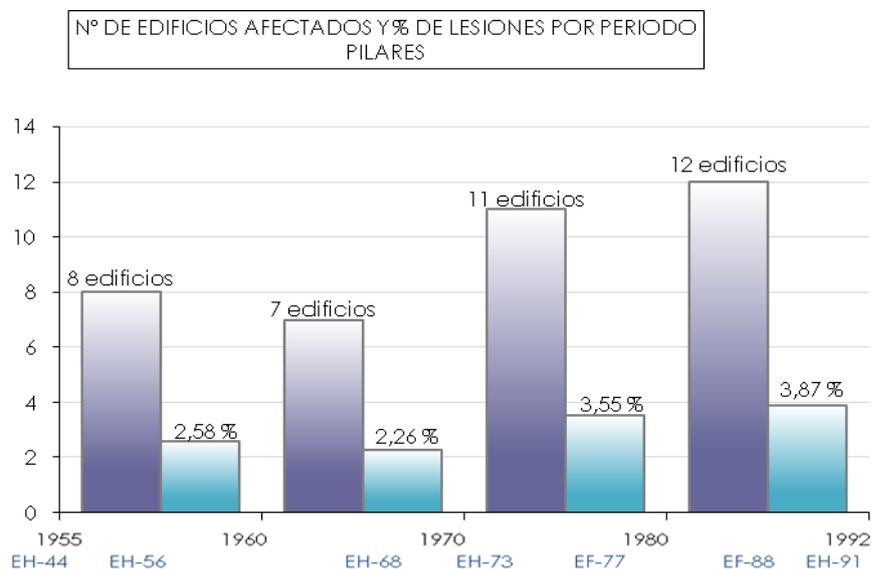
para contrastar su eficacia en los años siguientes, si bien nuestra experiencia profesional nos dice que se redujo considerablemente el problema.

- VIGAS: Aunque en menor medida que los forjados, también se observa una clara tendencia al alza de los valores, puesto que se pasó de usar las vigas de cantos holgados en el primer período a las vigas planas en torno a los años setenta y posteriores, a la par que aumentaron progresivamente las luces de las mismas.



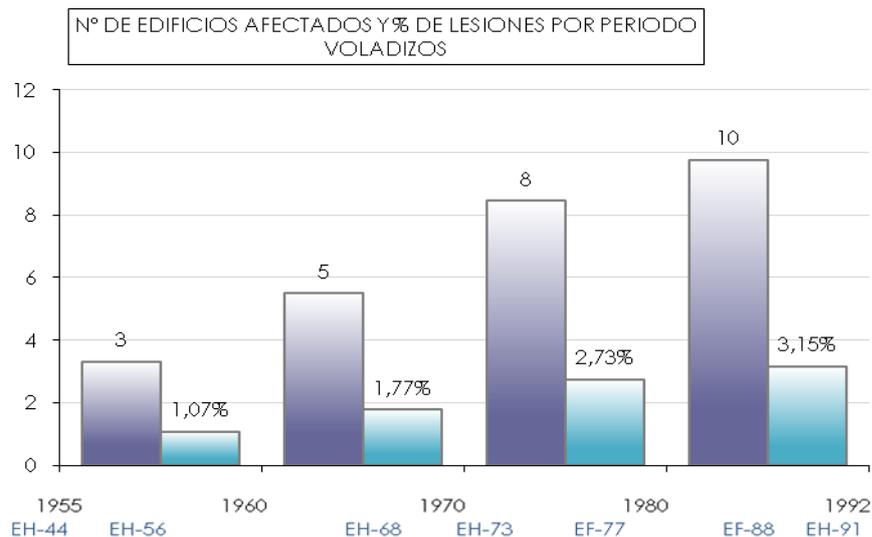
Por otro lado, los recubrimientos escasos ha sido también una fuente de problemas inagotables, sobre todo en elementos expuestos sin proteger.

- PILARES: Ya se ha justificado que la mayor parte de los daños en este elemento estructural se deben a problemas de degradación del material, que aumentan su gravedad con la antigüedad del edificio y no a problemas portantes. Se produce una ligera distorsión inicial debido a que se había intervenido previamente sobre algunos de los edificios inspeccionados.

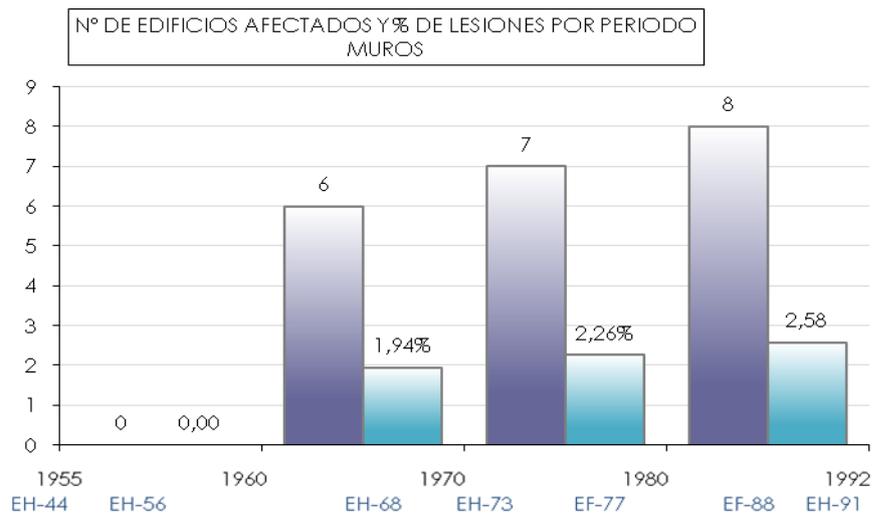


- VOLADIZOS: Se observa que, aunque los datos presentan una ligera tendencia al alza, es muy inferior al caso de las vigas. Esto se debe a que el canto de estos elementos sí que hay ido en aumento de forma paulatina con la práctica profesional, al margen de normativas.

En cualquier caso la patología más importante en los dos primeros periodos se produce en los elementos expuestos (vigas de fachada y balcones), con lo cual los problemas derivados del ataque químico resultan preponderantes. Posteriormente, suelen predominar los daños por deformación excesiva bajo la acción del cerramiento en punta de voladizo.

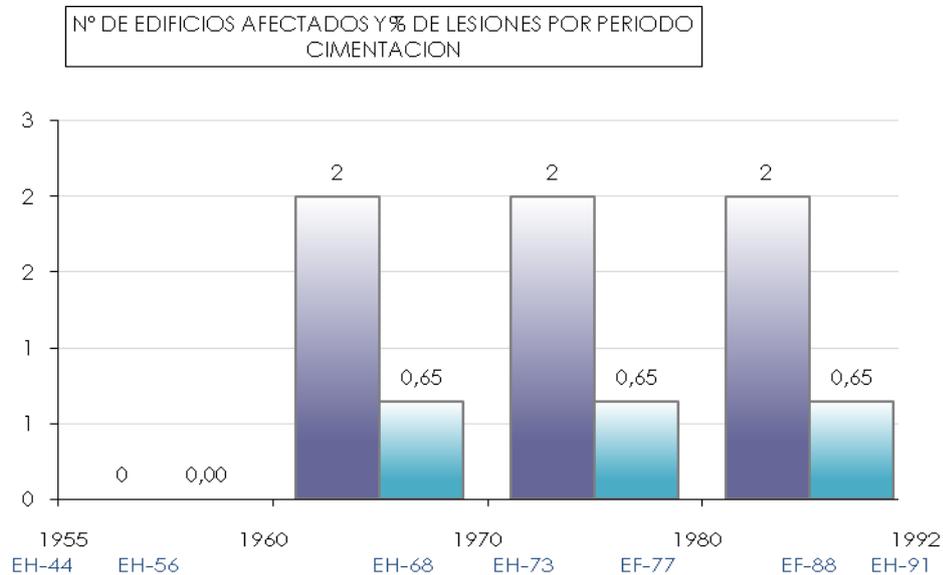


- MUROS: presentan una tendencia prácticamente constante, dado que como se ha comentado la mayor parte de las lesiones se corresponden con problemas de degradación derivados de las filtraciones.



La ausencia de daños en el primer periodo deviene de la inexistencia generalizada de sótanos en estos primeros edificios, dado que no había ni normativa ni la necesidad imperante actual de plazas de garaje.

- CIMENTACIÓN: si bien es cierto que el bajo número de lesiones no resulta significativo, nos encontramos con una tendencia estable con el paso del tiempo; es decir, aparentemente, el paso del tiempo no ha implicado un agravamiento sustancial de los problemas de este elemento.



**RESUMEN:** En los elementos interiores la deformación excesiva en forjados, con el agravante de la incorporación de la viga plana, adquieren una tendencia al alza muy acusada y progresiva en el tiempo al intervenir la deformación por fluencia, más acusada en las losas macizas de forjado. Hasta la entrada en vigor de la EF-88 la normativa poco ayudó a paliar el problema los forjados y vigas.

En los elementos poco protegidos como es el caso de los pilares de fachada, medianería y soportales expuestos, el factor más lesivo ha sido la degradación del material. El caso de voladizos de plantas inferiores con el cerramiento de fachada cargado en su extremo acumula, además de las mismas lesiones, las producidas por deformación excesiva. Desde la EH-44 y hasta la entrada en vigor de la EHE-98 la normativa apenas ha incorporado algún articulado al respecto de la degradación del material y de la durabilidad.

La construcción de plantas sótano para albergar los garajes ha marcado el inicio de los daños derivados de las filtraciones en los muros, si bien su patología no ha aumentado significativamente con el tiempo.

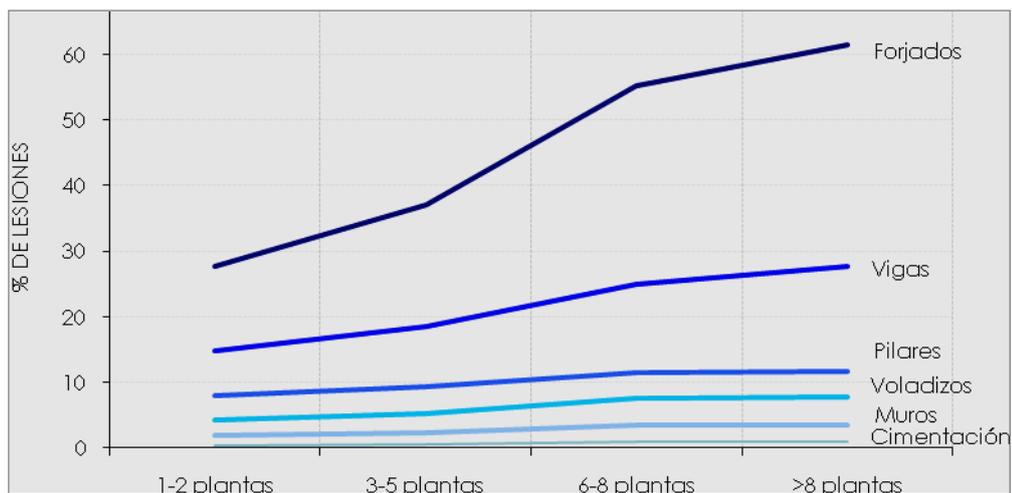
Los cimientos son el único elemento estructural que, aparentemente (solamente se juzgan sus efectos al estar ocultos), parece no agravarse con el paso del tiempo.

**ANÁLISIS 4.10:** En este caso se analiza la vinculación existente entre el número de plantas de un edificio y el porcentaje de lesiones detectadas:

Tabla 4.10								
INCIDENCIA DE EDIFICIOS AFECTADOS Y PORCENTAJE DE LESIONES EN FUNCION DEL NÚMERO DE PLANTAS (muestra: 310 edificios / 468 lesiones)								
ELEMENTO ESTRUCTURAL	Nº EDIFICIOS / % LESIONES							
	1-2 plantas		3-5 plantas		6-8 plantas		>8 plantas	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Forjados	20	12,96	77	18,51	36	30,18	13	33,70
Vigas	10	6,84	39	9,26	18	13,47	6	16,05
Pilares	5	3,62	20	3,92	9	4,03	3	3,95
Voladizos	4	2,41	14	3,09	7	4,19	2	4,38
Muros	3	1,48	11	1,75	5	2,56	2	2,58
Cimentación	1	0,46	3	0,53	1	0,82	1	0,86
% TOTAL LESIONES	27,77		37,06		55,25		61,52	
TOTAL DE EDIFICIOS	43		164		76		27	

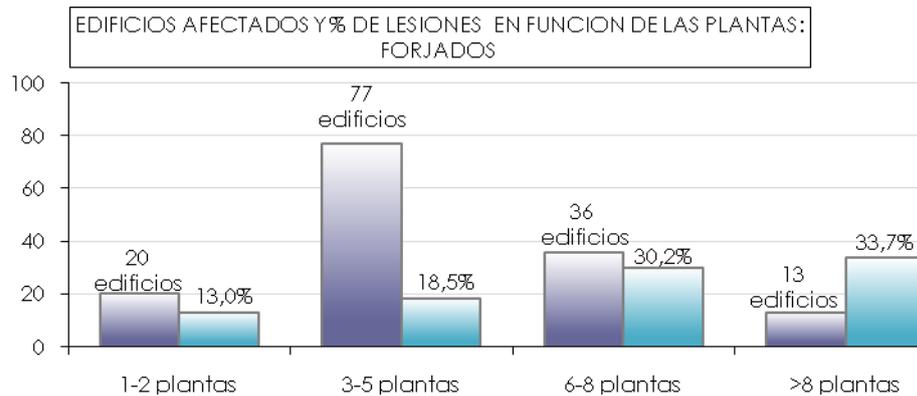
Sería razonable que, para todos los elementos estructurales, a mayor número de plantas (aumento de la complejidad constructiva) el número de lesiones debería tender a aumentar proporcionalmente; sin embargo esto no es así.

Si se estudia este apartado por líneas de tendencia se manifiesta inmediatamente la fuerte evolución al alza de la patología de forjados y en menor medida la de vigas. Pero más sorprendente aún es que apenas se ven afectados el resto de los elementos estructurales.



Obsérvese que la pendiente se incrementa rápidamente hasta las seis o siete plantas pero se reduce en las de altura superior debido a que el cálculo de este tipo de estructuras tradicionalmente se subcontrataban a especialistas.

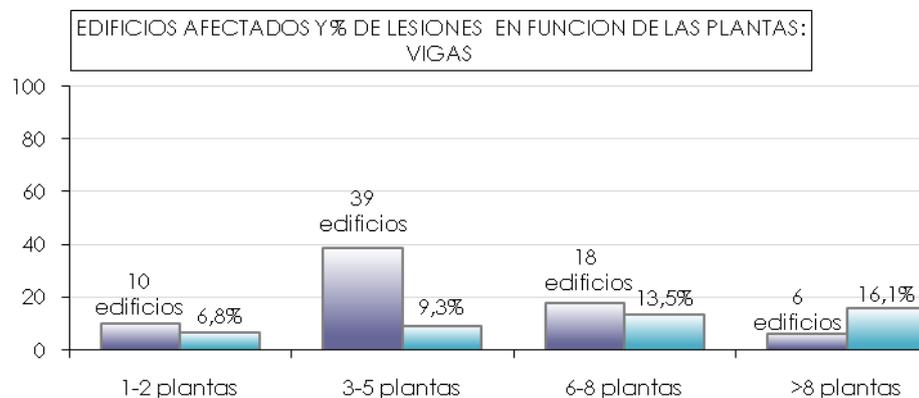
- FORJADOS: Sobre la muestra de 310 edificios y 468 lesiones, se observa una tendencia creciente y muy acusada en el porcentaje de lesiones a medida que los edificios crecen en altura. Viene a confirmar una realidad ya recogida por diversos autores y no es otro que el problema derivado de los arcos de descarga desde las plantas superiores a las inferiores a través de las tabiquerías, máxime cuando la planta inferior es diáfana por su uso comercial o de aparcamiento.



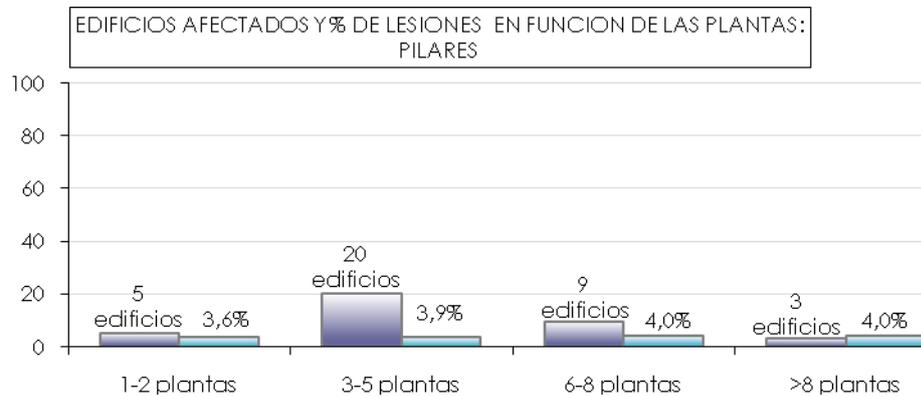
Las fisuraciones sobre tabiquerías de la planta primera y, de forma decreciente en las plantas consecutivas superiores, ha sido una constante en todo el territorio; esto se estudiará con mayor rigor en el capítulo siguiente.

Ni la normativa ni los programas informáticos de cálculo consideran este problema de forma intrínseca por lo que es de prever que perdurará en la patología de edificación a pesar de ser un problema conocido, pero no difundido, por los especialistas.

- VIGAS: Se observa, para la misma muestra, una cierta tendencia al alza, aunque no es tan significativa como en el caso anterior. Este elemento también se ve afectado por el problema de la acumulación y transferencia de las cargas de las plantas altas a las inferiores, aunque generalmente suele ser más rígido y se ve menos afectado por la patología reseñada.



- PILARES: Sobre la muestra de 310 edificios y 468 lesiones, se observa que los porcentajes de daños son prácticamente constantes, independientemente del número de plantas que tenga el edificio. Ya se ha explicado que la mayor parte de los daños descubiertos en pilares no se deben a problemas portantes por flexocompresión sino a problemas de degradación en los elementos expuestos al ataque químico.



- VOLADIZOS: Sobre la muestra de 310 edificios y 468 lesiones, se desprende que la incidencia del número de plantas en la patología de voladizos resulta prácticamente irrelevante. No obstante es necesario notar que, en términos generales, las fisuraciones sobre los cerramientos de fachada producidas en los voladizos de las plantas inferiores por efecto de los arcos de descarga se han asignado a lesiones del subsistema Cerramientos Exteriores.

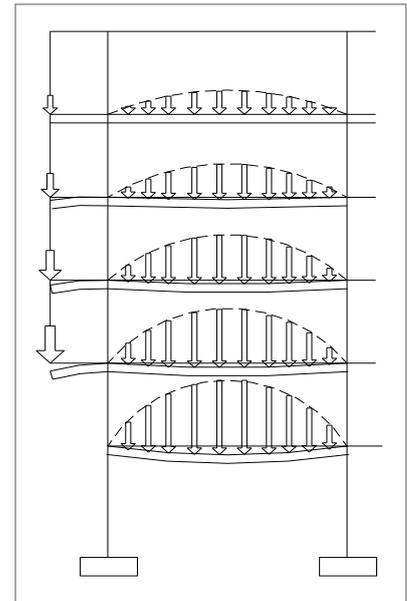


- MUROS Y CIMENTACION: La incidencia del incremento de alturas no influye en la patología de estos elementos.

RESUMEN: A pesar del dispar número de edificios que componen cada grupo estudiado, se observa que en el caso de los elementos flectados y sometidos a deformación, especialmente el forjado, el problema de la deformación excesiva derivada de la acumulación de los arcos de descarga desde las plantas superiores a las inferiores resulta muy gravoso.

Tanto el canto como la rigidez del forjado son parámetros que de forma habitual no se han adecuado en función de la altura del edificio, ni en la época estudiada ni en el momento actual.

El resto de los elementos en estudio (pilares, voladizos, muros y cimientos) no arrojan variaciones de daños en función del número de plantas.

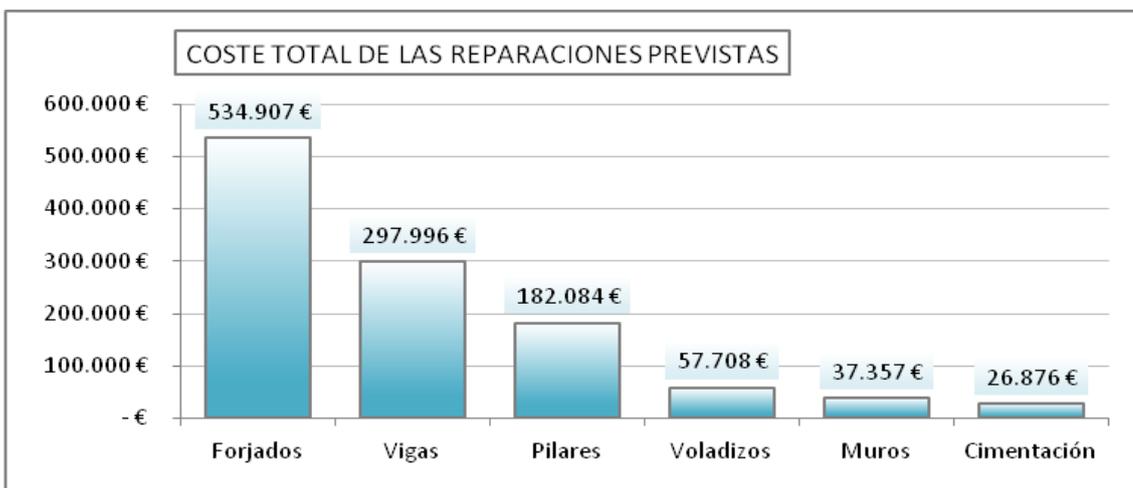


**ANÁLISIS 4.11:** En este análisis se estudia el coste presupuestado, total y medio, de las reparaciones previstas por elementos estructurales.

Como ya se ha explicado, el acuerdo de confidencialidad con el IGVS impide facilitar datos relativos a las intervenciones inmediatas (hubo un caso concreto de agotamiento a compresión en pilares), de ahí se desprende que la tabla sólo muestra valores referidos a reparaciones diferidas y urgentes:

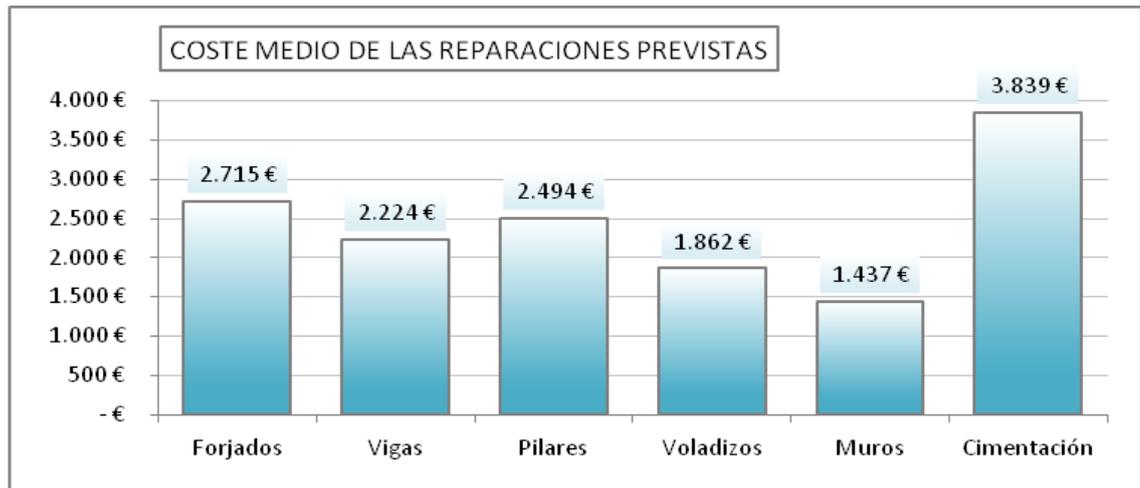
Tabla 4.11			
INCIDENCIA DEL COSTE DE LAS REPARACIONES (€)			
(muestra: 468 lesiones)			
ELEMENTO ESTRUCTURAL	Nº DE LESIONES	COSTE TOTAL	COSTE MEDIO
Forjados	197	534.906,56	2.715
Vigas	134	297.996,44	2.223
Pilares	73	182.083,56	2.494
Voladizos	31	57.708,09	1.861
Muros	26	37.356,63	1.436
Cimentación	7	26.876,46	3.839
TOTAL		1.136.925,74	2.428

Si se analizan los resultados del COSTE TOTAL de las reparaciones en forma de gráfico, el forjado acumula el coste más gravoso en la reparación de elementos estructurales dado el gran número de lesiones detectadas en los mismos:



Nótese que las vigas, aún ocupando el segundo lugar, presuponen prácticamente la mitad de la cuantía económica que los forjados, los pilares la tercera parte y los voladizos la décima.

Sin embargo, si se analiza el COSTE MEDIO por elemento estructural, los resultados son muy diferentes, siendo la reparación de los daños causados por fallos de cimentación el valor más elevado. En un segundo orden se situarían con un coste medio de reparación similar los forjados, vigas y pilares.



Se había justificado anteriormente que, estadísticamente hablando, un fallo en la cimentación repercute en un 370% sobre elementos estructurales directamente vinculados y, a la vez, en los acabados constructivos asociados. Como evidencia conocida, recordar que el asiento de un pilar suele causar daños importantes en su área de influencia (en la fachada, en los cerramientos interiores, pavimentos, etc.).

En cualquier caso, los procedimientos constructivos de reparación han sido variables en función del problema encontrado, generando soluciones muy dispares, que tanto el coste total como el coste medio no reflejan.

- FORJADOS: El coste total de las reparaciones presupuestadas (534.906€) lo sitúa en primer lugar en función del gran número de lesiones detectadas, sin embargo, según el coste medio (2.715€) de las reparaciones ocuparía el segundo puesto, muy parejo con el coste medio de reparación de vigas y pilares.



Al mismo tiempo hay que aclarar que, en la mayoría de los casos, la reparación de los daños visibles (fisuración de tabiquerías, pavimentos, etc.) no conlleva la solución del problema de origen, como es el caso de la deformación excesiva del forjado causada por un canto insuficiente.

- VIGAS: Atendiendo al coste total de las reparaciones (297.996€) las vigas ocuparían el segundo puesto (aunque supone la mitad que el coste total de reparación de forjados), mientras que si nos fijamos en el coste medio por lesión (2.223€) ocupa el cuarto lugar en la tabla (pero muy parejo con el coste medio de reparación de los forjados y vigas).



En la mayoría de los trabajos realizados, la operación se ha limitado a un picado superficial del hormigón, el saneado de las armaduras y rehacer el recubrimiento; todo ello sin necesidad de apeos de importancia.

- PILARES: Tanto el coste total (182.083€) como el coste medio (2.494€) de las reparaciones presupuestadas lo sitúa en tercer lugar.

En términos generales, la reparación de este elemento no presentaba problemas constructivos significativos, siendo similar que en el caso de las vigas, pero más sencillos, dado que los pilares más dañados solían ser los exentos del sótano, así como los de los soportales exteriores.



- VOLADIZOS: Atendiendo al coste total (57.708€) de las reparaciones ocuparía el cuarto puesto (la décima parte que el coste total de reparación de los forjados), mientras que si se observa el coste medio por lesión (1.861€) ocupa el quinto lugar en la tabla.

Hay que aclarar que en este caso el coste medio también es un valor relativo, para considerar con cautela, puesto que muchas lesiones vinculadas a este elemento como la fisuración de cerramientos exteriores han sido presupuestadas en el subsistema correspondiente.



- MUROS: Ocuparía el quinto puesto atendiendo al coste total (37.356€) y el último en el caso del coste medio (1.436€). Esto se explica por cuanto la mayor parte de las lesiones, producidas por filtraciones, eran fácilmente solucionables.

- CIMENTACIÓN: Aunque el coste total (26.876€) sitúa a este elemento estructural en último lugar, el coste medio de la reparación (3.839€) es, con gran diferencia, el más elevado de todos. No cabe duda de que en términos generales la reparación de lesiones vinculadas a la cimentación es la más costosa y la más problemática desde el punto de vista constructivo.

RESUMEN: Si bien el montante total de las reparaciones corresponde al forjado debido al gran número de lesiones encontradas, resulta muy significativo que el coste medio más elevado de las reparaciones se refiere a la cimentación dada su repercusión en daños sobre el resto del edificio.

No obstante, aunque el coste medio de las reparaciones del forjado y de las vigas como elementos individualizados, a priori no resultan muy elevados, el gran problema económico que generan son los daños colaterales sobre los elementos constructivos soportados (tabiquerías, pavimentos y falsos techos), por lo que al final, una lesión del binomio viga-forjado suele derivar en un coste muy elevado.

En el caso de los pilares el coste total y medio de las reparaciones, generalmente simples saneados del recubrimiento y de las armaduras, ocupa un término medio entre los elementos estudiados.

Por último, inferir que el coste de reparación de los daños de voladizos y muros de sótano resulta de baja entidad, tanto en valores totales como en valores medios.

### 4.3 – ANALISIS DE LA PATOLOGIA PARTICULAR DEL FORJADO.

Del capítulo anterior se inferían, de entre todos los elementos que componen la estructura, las siguientes cuestiones relativas al FORJADO:

- Con gran diferencia es el elemento más vulnerable de todos los que componen la estructura y el que, de forma directa o indirecta, repercute más sobre otros elementos constructivos.
- La sintomatología predominante entre sus lesiones es sin lugar a dudas la deformación excesiva (incluye la fisuración) y, en un segundo término, la degradación del material; entre ambas engloban el 98% de la misma.
- La causa predominante de las lesiones detectadas es la sección insuficiente (50% de daños) y, en un segundo término, el ataque químico y/o los recubrimientos escasos (35%).
- La patología por deformación excesiva es muy uniforme en toda la Comunidad Gallega, si bien es cierto que se aprecia un ligero incremento de las lesiones por degradación del hormigón armado en las zonas costeras expuestas al ambiente marino.
- Los problemas derivados de la excesiva flexibilidad aumentaron rápidamente desde sus comienzos hasta la entrada en vigor de la EF-88, agravándose con la incorporación de la viga plana a la edificación.
- A mayor número de plantas del edificio el número de lesiones del forjado tiende a aumentar, siendo la explicación principal a este fenómeno el problema de la deformación excesiva derivada de los arcos de descarga desde las plantas superiores a las inferiores.
- Si bien el coste medio de las reparaciones de las lesiones del forjado a priori no ha resultado muy elevado, el gran problema económico que genera este elemento es el gran número de lesiones y sus daños colaterales sobre los elementos constructivos soportados (tabiquerías y pavimentos).

Este capítulo se centrará definitivamente en la patología particular del forjado de hormigón armado, en aquellos extremos aún no contemplados, con el fin de finalizar el análisis de las variables e interpretar sus resultados.

Con el fin de ir más allá de unos simples parámetros estadísticos, se incorporan valoraciones obtenidas en algunas de las intervenciones de rehabilitación y/o refuerzo que fueron realizados a posteriori sobre la edificación inspeccionada, profundizando así en la patología particular del ámbito gallego.

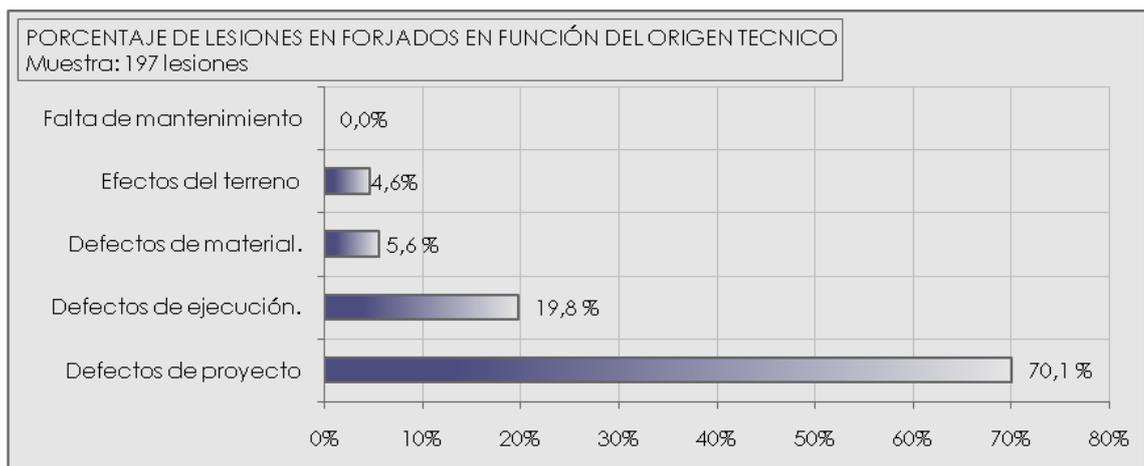
**ANÁLISIS 4.12:** En este caso se estudia la distribución de daños en el forjado en función del origen técnico del problema, es decir, la responsabilidad desde el punto de vista técnico asignada a cada lesión:

FORJADO	Nº DE LESIONES	PORCENTAJE
Defectos de proyecto	138	70,1 %
Defectos de ejecución.	39	19,8 %
Defectos de material.	11	5,6 %
Efectos del terreno	9	4,6 %
Falta de mantenimiento	0	0,0 %

(\*) En los datos se indica sólo el motivo principal asignado.

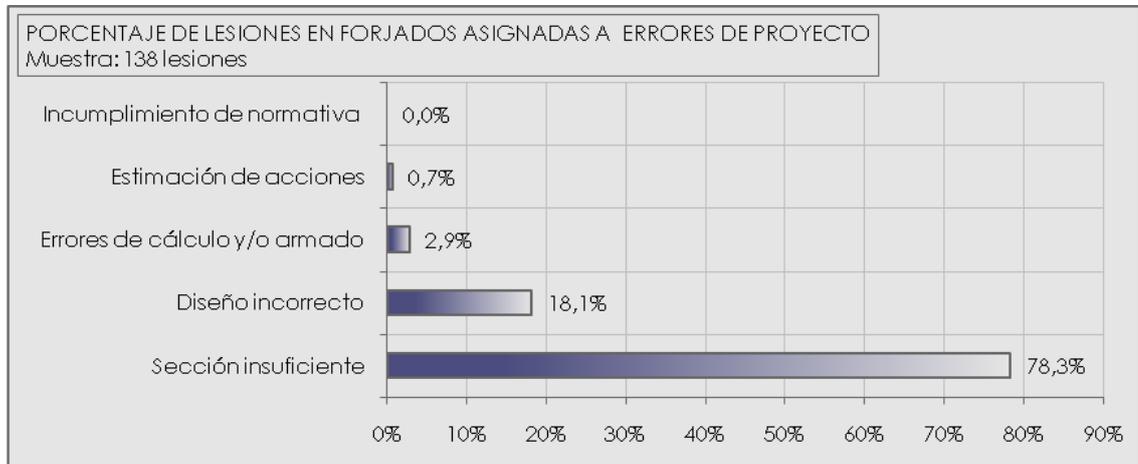
En primer lugar informar que hay que entender estos datos como tendencias estadísticas, más allá del valor numérico, puesto que en numerosos casos no dejan de ser responsabilidades compartidas durante todo el proceso.

Como ejemplo citar la típica corrosión de las armaduras, causada por un recubrimiento escaso o inexistente (sin especificar en los planos de proyecto) y que posteriormente también se ejecutó de forma defectuosa en obra. Tanto se puede responsabilizar al técnico redactor del proyecto como al director de la ejecución o a ambos; incluso en algún caso, la elevada porosidad del hormigón por una pésima dosificación podría orientar la responsabilidad hacia el grupo Defectos del Material.



En cualquier caso se concluye de forma categórica que en la redacción del proyecto radica el principal origen técnico de las lesiones, seguido muy de lejos de los errores originados durante la ejecución. En el caso de los forjados de hormigón armado, los defectos del material y los efectos del terreno tienen una relevancia muy discreta.

- DEFECTOS DE PROYECTO: el conjunto de lesiones atribuidas a errores originados durante la redacción del proyecto alcanzaron el 70,1% y, a su vez, se distribuyeron entre los cinco grupos siguientes:



Estos resultados hay que tomarlos con cierta reserva por dos razones:

a) Considerando el periodo de estudio de la tesis (1955-1992) parece obvio que los técnicos no hayan imputado las lesiones del forjado al incumplimiento de normativa por la sencilla razón de que hasta la EH-88 las prescripciones sobre límites de flecha o canto eran nulas o poco exigentes.

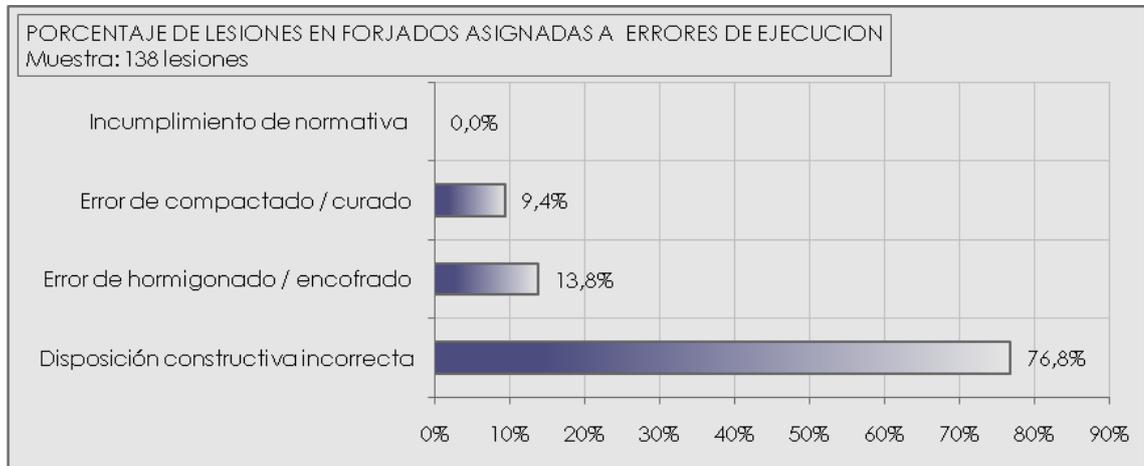
b) Al basarse en una mera inspección visual, y salvo casos puntuales, los técnicos no contaban con los planos de estructura, ni sus memorias ni sus anejos de cálculo por lo que difícilmente se podían atribuir lesiones a una incorrecta estimación de acciones, a un error de cálculo o de armado.

Por contra, las lesiones derivadas tanto del diseño incorrecto del forjado como de su sección excesivamente esbelta sí era posible objetivarlas en la amplia mayoría de casos.

Como reflexión indicar que, a priori, parece evidente que la deformación excesiva se trataría de un error de proyecto, pues es en este documento previo cuando se decide la sección de este elemento; ahora bien, si el arquitecto redactor del proyecto cumplía con las exigencias normativas del momento referentes al canto y a la deformación, ¿Realmente se puede considerar una responsabilidad del proyectista?

En cualquier caso, aún siendo necesaria esta reflexión, los resultados estadísticos son contundentes, arrojando un porcentaje de daños relacionados con los errores derivados de la sección insuficiente entorno al 78%, y los derivados de trazados incorrectos del orden de un 18%.

- DEFECTOS DE EJECUCIÓN: el conjunto de lesiones atribuidas a errores originados durante la etapa de ejecución de la obra alcanzaron el 19,8% y, a su vez, se distribuyeron entre los cuatro grupos siguientes:



En la misma línea que el anterior, decir que estos resultados hay que tomarlos con cierta reserva por tres razones:

a) Dado el periodo de estudio de la tesis (1955-1992) la ausencia de normativa específica sobre sistemas de ejecución de forjados era nula o escasa. Así resulta obvio que los técnicos no hayan imputado las lesiones del forjado al incumplimiento de normativa.

b) Durante años, ante la ausencia de articulados específicos en la normativa sobre durabilidad, este material se ha visto devaluado por dosificaciones incorrectas, la adicción de aditivos perniciosos, etc. Por lo tanto, ¿Hasta qué punto se puede considerar que una lesión de esta índole es responsabilidad del director de la ejecución?.

c) No se puede obviar que en la época estudiada era habitual que el proyecto apenas incluyera datos del forjado, el cual era calculado por la propia empresa suministradora.

A pesar de lo anterior, los resultados estadísticos son indiscutibles, presentando un porcentaje de daños relacionados con la disposición constructiva incorrecta entorno al 77%, y los derivados de la puesta en obra del orden de un 23%.

En la foto, un ejemplo de rotura de voladizo por disposición incorrecta de su armadura en la cara inferior.



Una última reflexión vinculada al ámbito de las responsabilidades compartidas radica en que durante el proceso de ejecución intervienen muchos profesionales, desde el arquitecto director de la obra hasta el constructor, pasando por aparejadores, técnicos de control y suministradores, por lo que aquí se engloban lesiones cuyo origen o responsabilidad podría asignarse como mínimo a una doble naturaleza:

- Los errores de dirección o ejecución técnica: lesiones que devienen de la falta de control suficiente y de no adaptar las carencias o los errores del proyecto a la realidad de la obra.
- Los errores de construcción o ejecución material: provienen de mano de obra en ocasiones poco cualificada que ha podido ejecutar pobremente la obra (encofradores, ferrallistas, peones, etc.).



- DEFECTOS DEL MATERIAL: el reducido grupo de errores que condujeron a estos daños (5,6% sobre 138 lesiones) se distribuyen básicamente entre los hormigones de baja calidad y algunos elementos prefabricados defectuosos tales como viguetas, prelasas, forjados pi, etc.



Respecto al acero de armar, y a pesar de las limitaciones tecnológicas del pasado, hay que decir que no se ha encontrado ninguna lesión que pudiera vincularse directamente a una baja calidad del mismo.

- EFECTOS DEL TERRENO: Este apartado engloba los errores de origen técnico relacionados con hundimientos, asientos, nivel freático, deslizamiento de ladera, etc. En la foto adjunta se observa la curvatura que ha adquirido el forjado debido a un problema de asientos diferenciales.

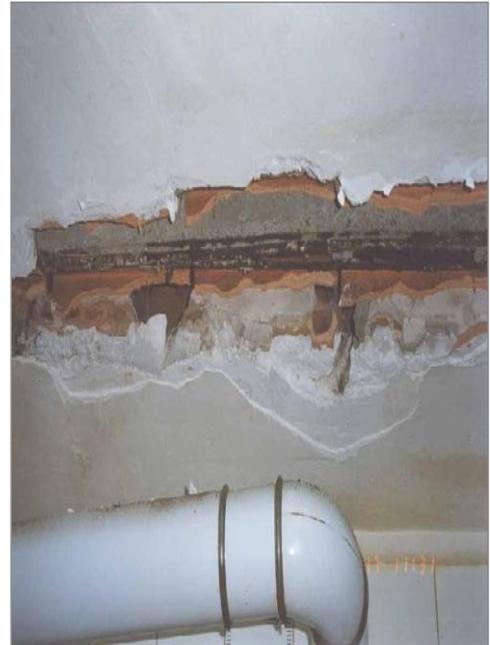


La estadística arroja un porcentaje de lesiones sorprendentemente bajo (4,6% sobre 138 lesiones) considerando la ausencia generalizada de estudios geotécnicos en el periodo estudiado.

Al respecto, de admitir como válidos los datos aportados en los diferentes proyectos consultados, se podría concluir estadísticamente que alrededor del 99% del territorio presenta una tensión admisible mínima del 2 kg/cm<sup>2</sup>.

- FALTA DE MANTENIMIENTO: en base a los datos estadísticos consultados éstos revelan que, en relación a los forjados de hormigón armado, las lesiones debidas a la ausencia de mantenimiento no se han producido.

No obstante es una realidad que en muchas de las lesiones encontradas, si los usuarios se hubieran percatado de su importancia o si la inspección técnica hubiese sido obligatoria, los daños se habrían minimizado y los costes de reparación hubieran sido bastante inferiores; la corrosión de armaduras, en muchos casos perfectamente visibles, sería un ejemplo notable.



RESUMEN: Los resultados de este análisis sobre el origen o responsabilidad técnica deben tomarse como simples referencias estadísticas, por cuanto sólo se ha cuantificado en cada lesión su origen principal, pero resulta evidente que en la práctica muchas veces han aparecido variables combinadas.

Los daños cuyo origen principal radica en la etapa de proyecto de estructura engloban en torno al 70% de las lesiones vinculadas a los forjados las cuales se podrían haber minimizado, siempre y cuando se hubiera dispuesto en ese período de una normativa exigente, cuyo articulado ayudase a reducir los casos de deformación excesiva (exigencia de canto suficiente) y los de la degradación del hormigón (exigencias relativas a la durabilidad).

Dentro de este grupo, la sección insuficiente (78%) y muy por detrás el trazado incorrecto (18%), engloban la mayoría de fallos desde el proyecto.

Los daños cuyo origen principal radica en la fase de ejecución acumulan en torno al 20% de los resultados. La mayoría de éstos se podrían haber minimizado mediante un control riguroso de la obra. Además, en esta fase, se

podrían haber corregido muchas de las carencias o los errores derivados de la fase de proyecto, como las disposiciones constructivas incorrectas.

En la etapa de ejecución los fallos se aglutinan entre las disposiciones constructivas incorrectas (77%) y los derivados de la puesta en obra del orden de un 23%.

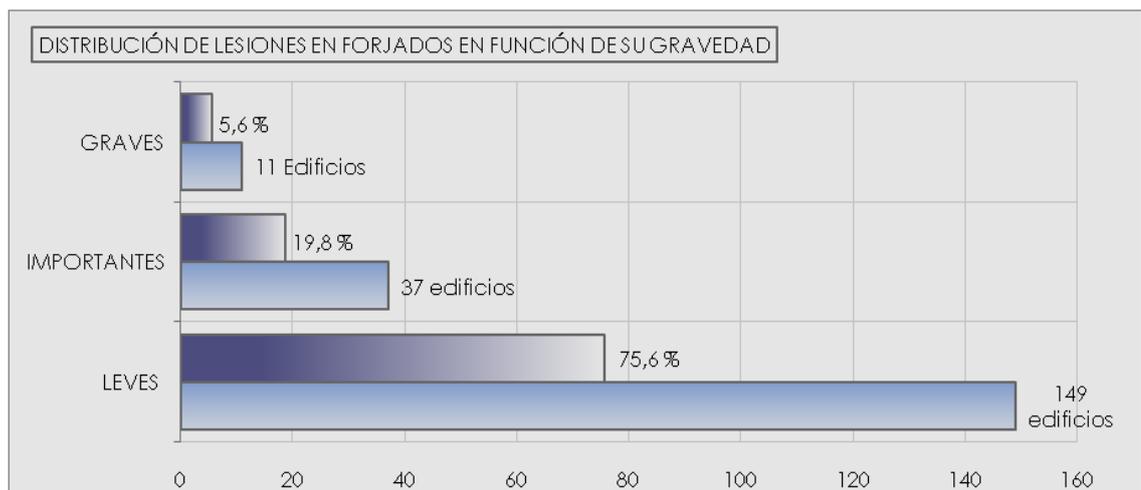
Los daños cuyo origen principal radica en defectos del material o los relativos a efectos del terreno suman un 10%, lo que se confirma como una incidencia relativamente escasa con respecto a los anteriores porcentajes.

Se incide de nuevo en la importancia de la correlación entre normativa y patología, por cuanto la limitación de la deformación no se impuso de manera efectiva hasta la aparición de la EH-88, y las exigencias de durabilidad no se harían efectivas hasta la entrada en vigor de la EHE-98. No sería hasta la L.O.E. de 1999 cuando se tomasen las disposiciones efectivas respecto a las Entidades de Control de Calidad y la exigencia de estudios geotécnicos previos.

**ANÁLISIS 4.13:** En este caso se estudia la cualificación de daños encontrados en el forjado en función de su gravedad. Previamente, se recuerdan los tres grados establecidos en el convenio en base a la sintomatología detectada:

- Leve: cuando no afecta a la seguridad y no representa ningún riesgo o peligro para usuarios o terceros.
- Importante: cuando puede afectar a la seguridad, pero no representa ningún riesgo para usuarios o terceros.
- Grave: cuando afecta a la estabilidad y/o representa un peligro para usuarios o terceros.

Tabla 4.13 (Muestra: 197 lesiones)						
DISTRIBUCIÓN DE LESIONES DEL FORJADO EN FUNCIÓN DE LA GRAVEDAD						
LESIONES	LEVES		IMPORTANTES		GRAVES	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Forjado	149	75,60	37	18,80	11	5,60



- DAÑOS LEVES: Cualificadas así las tres cuartas partes de las lesiones (75%).

Abarcan la mayor parte de los daños originados por la deformación excesiva, acompañados de pequeñas fisuraciones en los acabados constructivos, sin mayor trascendencia que la meramente estética.

Igualmente engloba la mayor parte de las lesiones relativas a manchas, eflorescencias y carbonataciones de baja intensidad. En la foto un defecto del encofrado catalogado como leve en Marín (Pontevedra).



- DAÑOS IMPORTANTES: Han representado en torno a la quinta parte de las lesiones detectadas en el forjado (19,8%).

Comprenden la amplia mayoría de las fisuraciones moderadas que inicialmente no comprometían la seguridad del elemento, así como un amplio abanico de los desprendimientos del recubrimiento que podían originar futuras corrosiones de las armaduras.

También engloban los casos enumerados en el apartado anterior cuando presentaban una intensidad de moderada o alta.

En la foto, un ejemplo de forjado de sótano con daños por filtraciones continuadas y síntomas de carbonatación y corrosión en Vivero (Lugo).



- DAÑOS GRAVES: Representaron tan solo un 5,6% de las 197 lesiones.

Básicamente comprendieron sintomatologías singulares de fisuras y grietas relevantes, rotura de viguetas, coqueras múltiples, desprendimientos (como los casos de rotura de bovedillas y petos de remate).

El caso de lesiones graves por corrosión intensa de armaduras de los nervios, como el ejemplo de la foto en Ferrol (Coruña), resultaron una constante en las edificaciones de cierta edad, sobre todo en el ámbito costero.



**RESUMEN:** se puede concluir que en el 95% de los casos el forjado no genera una patología de riesgo, dado que al trabajar preferentemente bajo flexión, tiene una capacidad de preaviso muy elevada. Además, con respecto a la deformación excesiva, ésta tiende a estabilizarse con el tiempo.

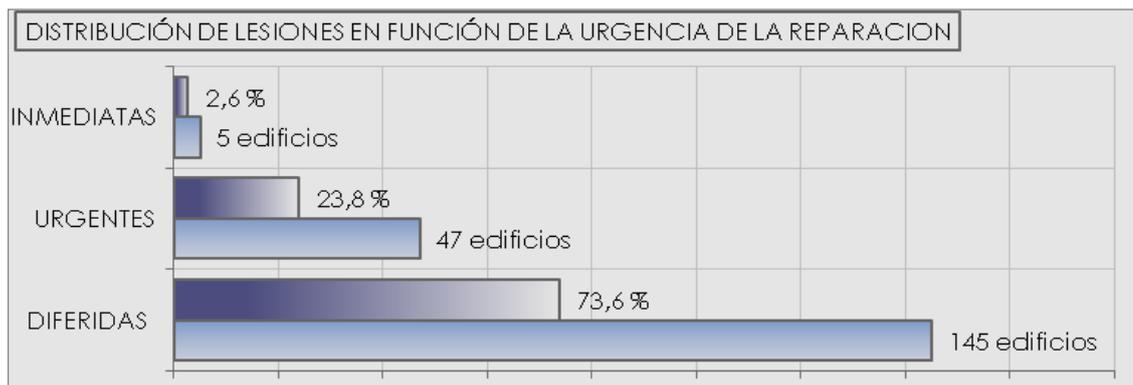
Otra cuestión diferente, es el alarmismo que suele producir entre los usuarios la fisuración de las tabiquerías, pavimentos y falsos techos que acompaña a la deformación excesiva.

Sí resultan especialmente graves los pocos casos de corrosión acusada de las armaduras de los nervios en aquellas situaciones en las cuales quedaban ocultos por los falsos techos. En estos casos, la vibración del mismo ante el tránsito ordinario fue la clave para proceder a unas catas de reconocimiento.

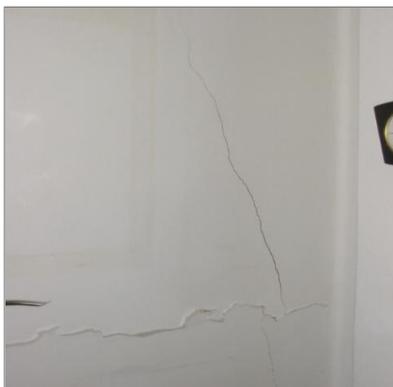
**ANÁLISIS 4.14:** En este caso se analiza la distribución de lesiones en el forjado en función de la necesidad o urgencia de la reparación. Como recordatorio, citar los tres grados posibles establecidos en el convenio IGVS-COAG, en base al grado de evolución de los daños:

- Diferida: la actuación se puede demorar dentro de los tres años posteriores a la redacción del informe.
- Urgente: el plazo no puede demorarse más de un año.
- Inmediata: cuando la actuación a realizar, provisional o definitiva, no permite ningún atraso. Incluye apuntalamiento y/o desalojo.

LESIONES	DIFERIDAS		URGENTES		INMEDIATAS	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Forjado	145	73,60	47	23,85	5	2,55



- INTERVENCIÓN DIFERIDA: engloba casi las tres cuartas partes de las lesiones detectadas, generalmente correspondientes a las calificadas como de gravedad leve y que no tenían mayor trascendencia que la meramente estética y la consiguiente sensación de alarma entre los usuarios.



Incluyen el abanico de los daños generados por una deformación excesiva del forjado y esta intervención estaba orientada a la reparación de fisuraciones en tabiquerías y/o acabados a medio o largo plazo.

Igualmente engloba la mayor parte de las lesiones relativas a manchas, decoloraciones, eflorescencias y carbonataciones poco intensas del hormigón.

En estos casos de intervención diferida, dada la lógica inviabilidad económica de las reparaciones que suponía para el IGVS, más que una reparación se recomendaba un control en la evolución de la lesión.

El problema radicaba en que, la mayoría de las veces, no era viable eliminar la causa origen del problema (la sección insuficiente), por lo que en el fondo se trataba de una intervención estética con carácter temporal.

- INTERVENCIÓN URGENTE: Abarca prácticamente la cuarta parte de las lesiones encontradas durante el proceso de inspección técnica, generalmente correspondientes a las calificadas como de gravedad importante y cuya intervención no podía demorarse en exceso a consecuencia de que el daño detectado podía derivar en una situación de cierto riesgo o en una alta repercusión económica si se postergaba.



En algún caso fueron introducidas en este grupo de intervención urgente algunas lesiones calificadas inicialmente por los inspectores como leves al presentar éstas un estado de fisuración o degradación realmente importante.



Básicamente comprendían aquellas intervenciones relativas a fisuraciones importantes de algún elemento del forjado o rotura patente de los elementos constructivos vinculados (bovedillas, tabiquerías, falsos techos o pavimentos) así como los desprendimientos de los recubrimientos acompañados de corrosiones avanzadas de las armaduras.

- INTERVENCIÓN INMEDIATA: Aunque los resultados arrojan un porcentaje mínimo del 2,6% realmente esta designación conllevaba la necesidad urgente e ineludible de una diagnosis rigurosa.

Llegado este momento, como Supervisor y responsable del área de estructuras, procedía personalmente mediante la realización de catas, ensayos u otras pruebas encaminadas a profundizar en el alcance de la lesión antes de emitir un informe concluyente al IGVS.

De los cinco casos de lesiones así catalogadas en forjados nos encontramos:

- Un caso de agotamiento teórico por cortante.
- Tres casos graves de corrosión generalizada de la armadura de nervios.
- Un caso de coqueras múltiples en los nervios de una losa maciza.



**RESUMEN:** En continuidad con el análisis anterior sobre la gravedad de las lesiones, se puede igualmente afirmar que el forjado es un elemento que, en términos generales, por encima del 97% de los casos no genera una necesidad de intervención o reparación apremiante, dada la tipología de sus lesiones más frecuentes.

Las lesiones con una necesidad de intervención inmediata han resultado prácticamente anecdóticas y en ningún caso ha sido fruto de la lesión estadística más repetida, esto es, la deformación excesiva.

Además, se recuerda que este elemento, en términos generales, tiene una capacidad de preaviso muy elevada al trabajar preferentemente bajo flexión.

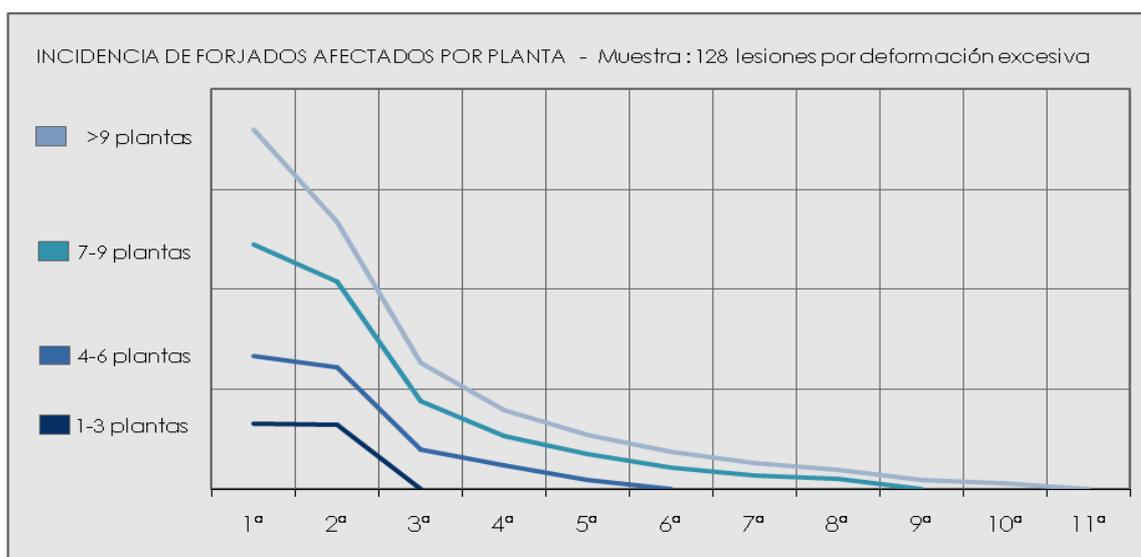
Otra cuestión diferente, es la reparación de los elementos constructivos vinculados a la deformación excesiva que, sin ser graves, pueden ser alarmantes y/o tener una consideración estética relevante.

**ANÁLISIS 4.15:** Dado que el problema de la deformación excesiva asociado a la sección insuficiente resulta extremadamente notable en el caso del forjado (ver análisis 4.10), se establece la correlación entre este problema y su incidencia en cada planta del edificio.

Indicar que la elaboración de los datos de esta tabla se llevó a cabo durante la revisión manual de los informes técnicos comentada en su momento, cuando se justificaba la Estadística Corregida, pues esta problemática ya había sido ratificada por la experiencia durante el proceso de inspección:

Tabla 4.15				
PORCENTAJE DE FORJADOS AFECTADOS POR DEFORMACION EXCESIVA EN FUNCION DEL NÚMERO DE PLANTAS (*) (muestra: 128 lesiones)				
PLANTA	ALTURA DEL EDIFICIO			
	1-3 plantas	4-6 plantas	7-9 plantas	>9 plantas
	%	%	%	%
Primera	6,54	7,76	17,07	10,54
Segunda	6,42	4,35	9,59	6,56
Tercera	----	1,98	5,83	3,45
Cuarta	----	1,36	2,51	2,04
Quinta	----	1,88	2,31	1,28
Sexta	----	----	1,94	1,15
Séptima	----	----	1,02	1,14
Octava	----	----	1,41	0,95
Novena	----	----	----	0,90
Décima	----	----	----	0,02
Undécima	----	----	----	0,62

(\*) Valores corregidos en función del número de edificaciones por cada tipología.



Excluyendo la tipología de edificios más bajos (1 a 3 plantas), el resultado es inequívoco con la concentración de lesiones asociadas a la deformación excesiva en la primera planta (40%) y, progresivamente decreciente, en la segunda (23%) y tercera planta (12%). La explicación no es otra que el conocido problema de la acumulación de cargas producidas por los arcos de descarga desde las plantas superiores hacia las inferiores a través de las tabiquerías, cuando la planta baja es diáfana (locales comerciales o destinada a aparcamiento).

Obviamente, observando los datos de la tabla, este problema no se presenta en las construcciones más bajas (1 a 3 plantas) puesto que la acumulación de cargas es irrelevante y, además, esta tipología no suele tener la planta baja diáfana.

En la tipología de 4 a 6 plantas los daños se centran en la primera y segunda plantas, mientras que de la tercera en adelante las lesiones descienden significativamente.

En el grupo de 7 a 9 plantas la acumulación más significativa de daños alcanza el tercer forjado.

Esta problemática se ve relativamente amortiguada, sobre todo a partir de la planta segunda en las edificaciones más altas (>9 plantas) debido a que esta tipología de estructuras tradicionalmente se subcontrataban a especialistas los cuales, con mayor o menor acierto, conocían el problema.

Un dato muy relevante a tener en cuenta es el repunte de la incidencia de daños en la planta superior de cada tipología (excepto en la de 1 a 3 plantas), debido fundamentalmente a dos situaciones distintas de cargas no previstas en proyecto:

- a) Se ha podido constatar in situ, en numerosas ocasiones, que dicha planta estaba destinada a un uso de trasteros con una carga real de almacenaje puntualmente importante.
- b) También se ha podido evidenciar la construcción tradicional de cubiertas que, en vez de estar proyectadas con un forjado propio, se descargaban en el forjado del bajo cubierta a través de tabiquerías cerámicas.

No se puede obviar que tradicionalmente el forjado se ha dimensionado y armado para una única planta tipo sin mayor condicionante de proyecto que las cargas verticales permanentes y la sobrecarga de uso por vivienda, pero sin considerar el problema citado en el apartado anterior.

Lamentablemente, nuestra experiencia nos dice que este problema sigue siendo un error habitual por parte del técnico medio, más acuciante aún con el uso indiscriminado de los programas de cálculo automatizados y la confianza ciega en los mismos.

Es de sobra conocido que la ejecución de la tabiquería de arriba hacia abajo o aplazar el retacado aliviaría enormemente la formación de arcos de descarga.

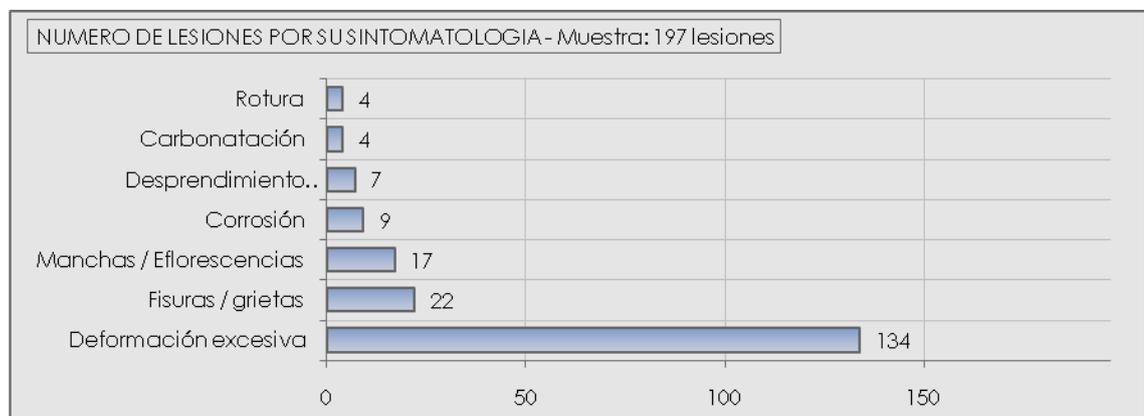
**ANÁLISIS 4.16:** se procede con el análisis final en base a las variables Sintomatología y Causas de las lesiones del forjado para relacionarlas entre sí. En este estudio, en vez de buscar una conclusión analítica, interesa cuantificar y particularizar con detalle la casuística real encontrada durante el trabajo de inspección y que se presenta en esta tabla:

TABLA 4.16							
CASUÍSTICA DE LAS LESIONES DEL FORJADO (*)							
(Muestra: 197 lesiones)							
SINTOMAS \ CAUSAS	Sección insuficiente	Ataque químico Recubrimiento insuf.	Cuantía insuficiente Armado incorrecto	Humedades	Asiento diferencial	Vibración por maquinaria	Efectos térmicos
Deformación excesiva	128	0	0	0	6	0	0
Fisuras / grietas	6	0	7	0	3	5	1
Manchas / Eflorescencias	0	3	0	13	0	0	0
Corrosión de armaduras	0	9	0	0	0	0	0
Desprendimiento /Disgregación	0	4	3	0	0	0	0
Carbonatación del hormigón	0	4	0	0	0	0	0
Rotura	0	0	5	0	0	0	0

(\*) En los datos de las lesiones se indicaba sólo el valor principal considerado.

Si bien los datos estadísticos de esta tabla muestran tan solo la lesión principal asignada al binomio síntomas/causas, se recuerda que en numerosos casos concurren diversos problemas, síntomas y causas combinadas, las cuales fueron debidamente aclarados en cada informe.

Desglosando la tabla anterior por Sintomatología, nos quedaría:

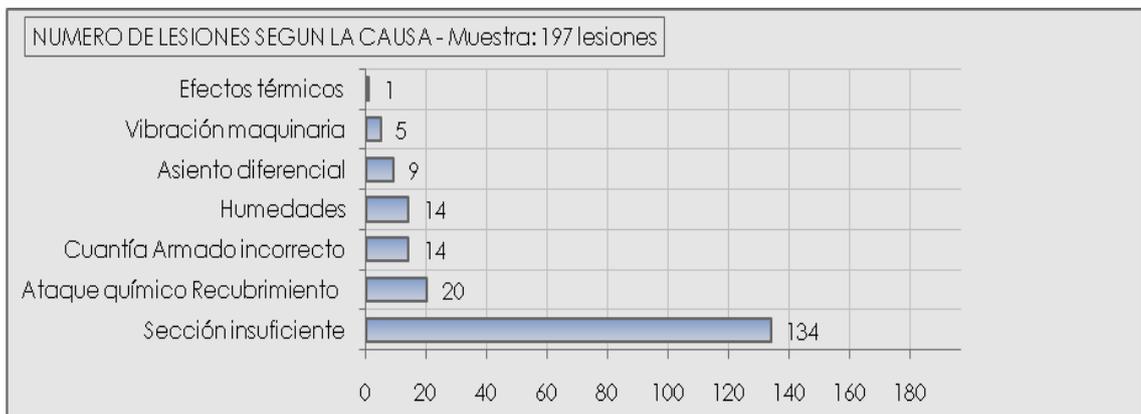


El gráfico es rotundo y concluyente con lo expuesto a lo largo de la tesis, por cuanto la sintomatología asociada a la deformación excesiva del forjado destaca de forma incuestionable englobando al 68,0% de las lesiones.

El conjunto de lesiones que aglutinan los fenómenos químicos de disgregación, desprendimientos, eflorescencias, carbonatación y corrosión metálica suman un 18,9%. Si bien este valor parece contradecir el 30% referenciado en el Capítulo 4.2 (ver análisis 4.7: Subsistema Estructura), hay que incidir en que en el presente análisis tan solo se reflejan los daños por ataque químico sobre el forjado el cual, en la mayoría de los casos, es un elemento bastante protegido.

La fisuración de diversa índole alcanza un discreto 11,1% y la rotura de elementos, como se verá más adelante, resulta anecdótica con un 2%.

Al desglosar la tabla inicial por Causas, el resultado es el que sigue:



Los resultados vuelven a ser categóricos, por cuanto la causa principal en el origen de daños del forjado es la sección insuficiente englobando al 68% de las lesiones.

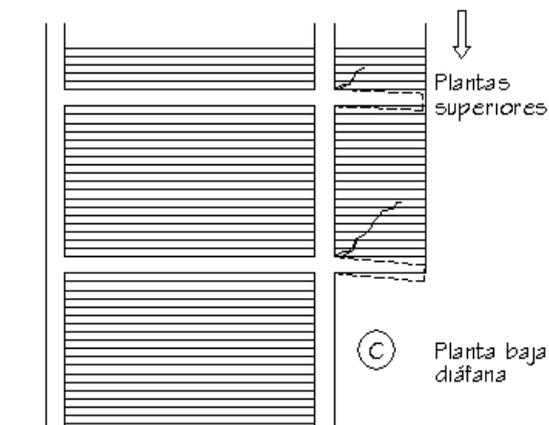
Llegados al núcleo fundamental de la tesis se considera necesario pormenorizar la casuística de las lesiones más allá de cualquier tabla o gráfico de índole estadística. El objetivo de este trabajo no es desglosar una a una las lesiones pero sí obtener una visión de conjunto. Por ello, se indica a continuación, para cada lesión tipo, el número de veces que se registró durante el proceso de inspección (como lesión principal), su incidencia sobre las 197 lesiones así como un ejemplo representativo de las mismas.

Tal como se justificó en su momento, se enumeran aquí las lesiones derivadas de la Estadística Inicial, pero no de la Estadística Corregida. Sin embargo, en esta casuística sí se incorporan valoraciones que van más allá del estudio estadístico, obtenidas en algunas de las intervenciones de rehabilitación y/o refuerzo que fueron realizadas a posteriori sobre la edificación inspeccionada.

- FISURACION DE TABIQUERIA POR DEFORMACION EXCESIVA DEL FORJADO (79 lesiones sobre 197 → 40%): resultado de un canto de forjado no adecuado a la luz del elemento y/o a los efectos producidos por la acumulación de arcos de descarga desde las plantas superiores hacia las inferiores, en aquellos casos en que la planta inferior era diáfana. En términos generales se ha considerado una lesión leve.



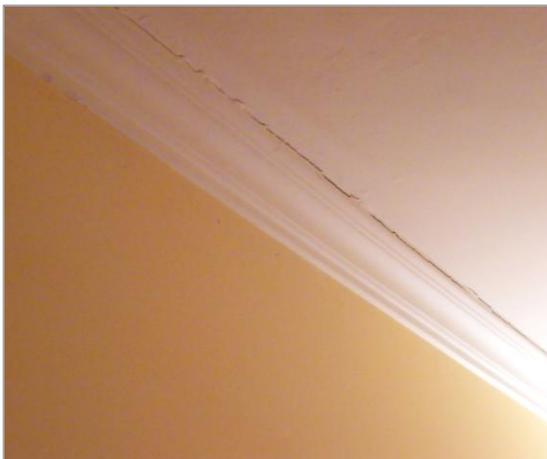
- FISURACION DEL CERRAMIENTO POR DEFORMACION EXCESIVA DEL VOLADIZO (18 lesiones sobre 197 → 9,1%): las lesiones provienen de los efectos producidos por la acumulación de arcos de descarga desde las plantas superiores hacia las inferiores. En la mayoría de los casos se ha considerado una lesión grave, no tanto por el aspecto estructural sino por la vía de entrada de agua que supone.



- FISURACION DE PAVIMENTOS (17 lesiones sobre 197 → 8,6%): Lesión habitual en el caso de la deformación excesiva del forjado, destacándose la tipología de lesión causada por un error de diseño en fase de proyecto al encadenar unos brochales sobre otros, generando una acumulación de flechas inviiables para los elementos constructivos frágiles. En términos generales no es grave.



- FISURACION DE FALSOS TECHOS (14 lesiones sobre 197 → 7,1%): además de manifestarse junto con la deformación excesiva del forjado, se destaca el caso frecuente motivado por un error de diseño en fase de proyecto; el trazado de vanos paralelos y adyacentes con diferencia de luces importantes que acusan la incompatibilidad de las deformaciones de las viguetas contiguas. En la mayor parte de los casos no se ha considerado una lesión grave.



- DEGRADACIÓN DEL HORMIGÓN POR FILTRACIONES DE AGUA (13 lesiones sobre 197 → 6,6%): Este caso se ha detectado reiteradamente como consecuencia de fallos en impermeabilizaciones de terrazas o patios, así como por roturas de instalaciones de saneamiento. En algunos casos, como el de la fotografía, se ha clasificado como lesión grave.



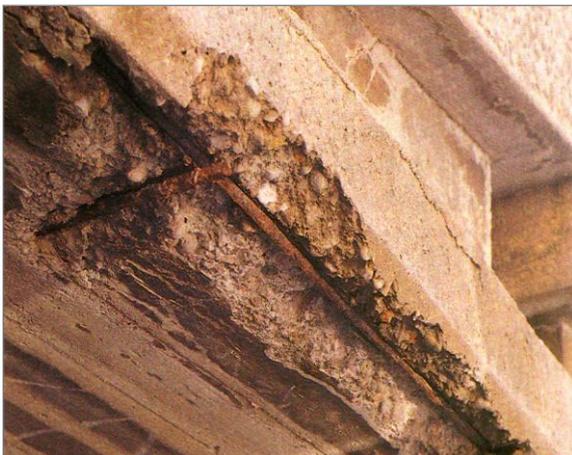
- DEGRADACIÓN DEL HORMIGÓN SUPERFICIAL POR CARBONATACION (10 lesiones sobre 197 → 5,0%): las eflorescencias y las manchas de diversa índole son un claro ejemplo de cómo se deteriora el hormigón con una pobre dosificación y expuesto al ataque marino en las zonas costeras, cuando presenta alta porosidad y/o un recubrimiento escaso.



- CORROSIÓN METÁLICA DE LAS ARMADURAS O DE LOS PERFILES DEL FORJADO (9 lesiones sobre 197 → 4,6%): El ataque químico unido a la falta de un recubrimiento adecuado acaba produciendo la corrosión metálica de las armaduras. En la foto izquierda se muestra el aspecto de un forjado ejecutado con viguetas metálicas (en el proyecto original figuraban viguetas de hormigón). El caso de la derecha obligó al desalojo de los inquilinos dada su gravedad.



- DESPRENDIMIENTO DEL HORMIGÓN DEL RECUBRIMIENTO (8 lesiones sobre 197 → 4,0%): una lesión estándar en los forjados expuestos como resultado de la carbonatación, la disgregación del hormigón y finalmente, de la corrosión metálica avanzada de las armaduras. En las fotos se muestran ejemplos en un estado muy avanzado.



- FISURACIÓN POR SECCIÓN INSUFICIENTE DEL ELEMENTO (6 lesiones sobre 197 → 3,0%): la ejecución de un esbelto forjado de losa maciza en voladizo para cubrir el balcón, sin considerar las cargas transmitidas por la tabiquería superior y el área correspondiente de la cubierta soportada, ha sido la causa principal de la lesión de la fotografía izquierda, catalogada como grave.

El caso de la fotografía derecha se observa una lesión habitual (hasta la aparición de los programas informáticos actuales) causada por la deformación excesiva de un zuncho perimetral de la caja de escaleras infradimensionado en todas las plantas.

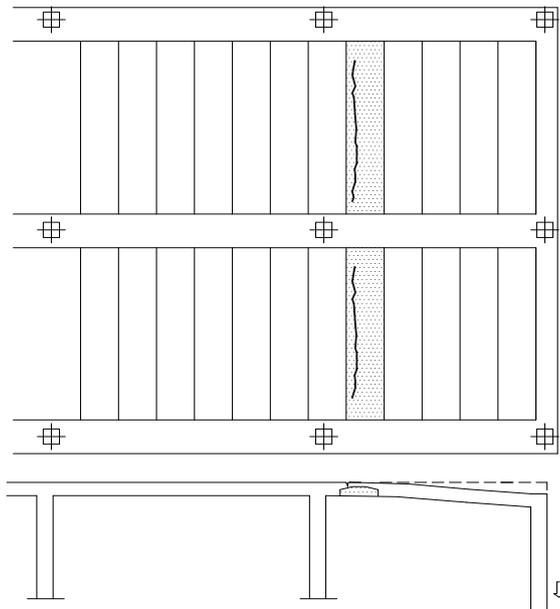


- FISURACIÓN POR CUANTÍA INSUFICIENTE (6 lesiones sobre 197 → 3,0%): En la foto izquierda se produjo la deformación del forjado acompañando a la deformación de la viga de borde, debido al anclaje insuficiente de la armadura de refuerzo de positivos. Se consideró una lesión importante.

A la derecha un caso de torsión grave en un forjado de rampa de garaje.

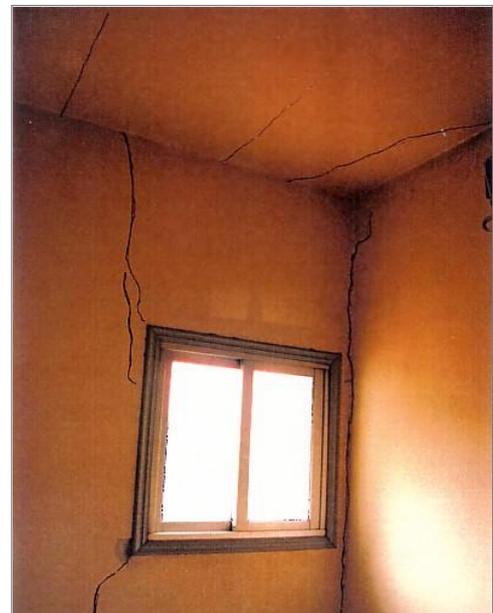


- ROTURA DE BOVEDILLAS (6 lesiones sobre 197  $\rightarrow$  3,0%): Causadas por un asiento diferencial en el cimiento de una alineación de pilares. En este caso se produjo la deformación del paño de forjado que promovió la rotura de varias bovedillas por su compresión lateral inferior. Al estar estabilizada se computó como leve.

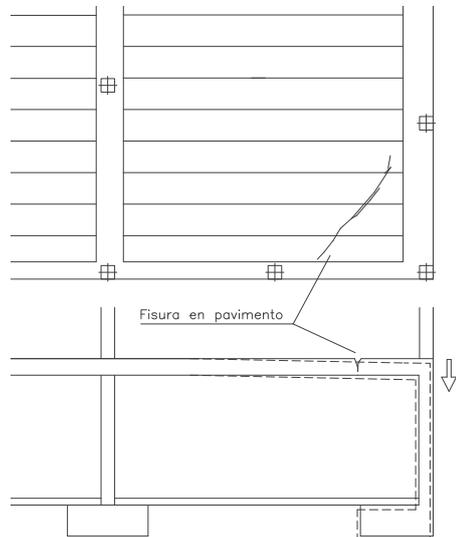


- VIBRACIONES DEL CUARTO DE MÁQUINAS DEL ASCENSOR (5 lesiones sobre 197  $\rightarrow$  2,5%): en el entorno de la caja de ascensores del portal, en ocasiones se detectaron fisuraciones aisladas y leves, asociándose las mismas a la vibración inducida por las frenadas y arranques del ascensor.

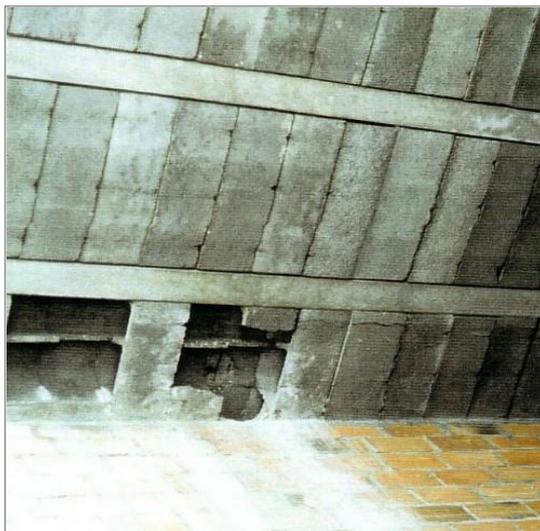
En esta foto, la esbeltez de la losa maciza del forjado de apoyo de la maquinaria unido a la ausencia de elementos amortiguadores indujo fisuraciones que se transmitieron a la fábrica sustentada y, posteriormente, a la losa de cubierta. En este caso se consideró una lesión grave.



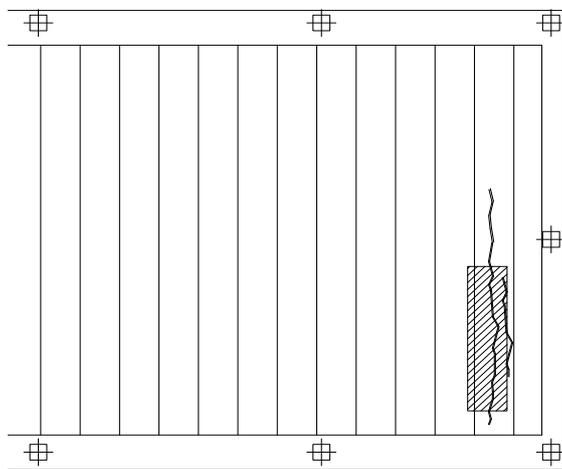
- ROTURA DE LA LOSA SUPERIOR (3 lesiones sobre 197 → 1,5%): Un asiento diferencial de la zapata de un pilar de esquina conllevó la deformación del forjado y se tradujo en la rotura grave de su losa superior.



- DEFORMACIÓN Y DAÑOS POR MODIFICACIÓN DE TABIQUERÍAS (3 lesiones sobre 197 → 1,5%): la introducción de nuevas tabiquerías o la eliminación de las existentes, con motivo de reformas realizadas por los usuarios, ha generado modificaciones en las condiciones de contorno adquiridas por el forjado con el paso del tiempo las cuales se tradujeron en deformaciones del mismo que causaron daños leves en los elementos constructivos soportados.



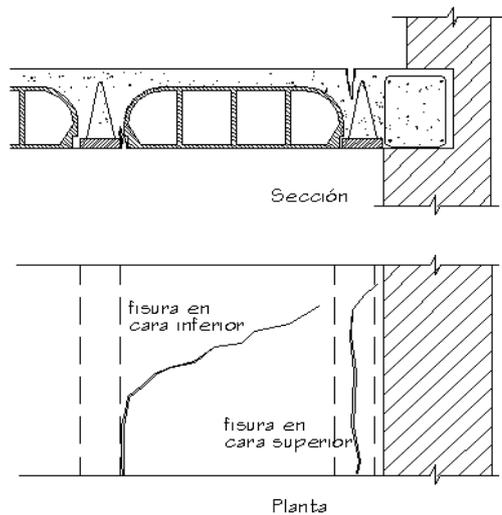
- DEFORMACIÓN LOCAL DE NERVIOS POR CARGAS NO PREVISTAS (2 lesiones sobre 197 → 1,0%): la fisuración del forjado estuvo motivada por la ubicación, por parte del inquilino, de un acuario de 750 litros repartidos entre cuatro apoyos metálicos en un forjado aislado de  $h=22\text{cm}$  y  $L=6,15\text{m}$ .



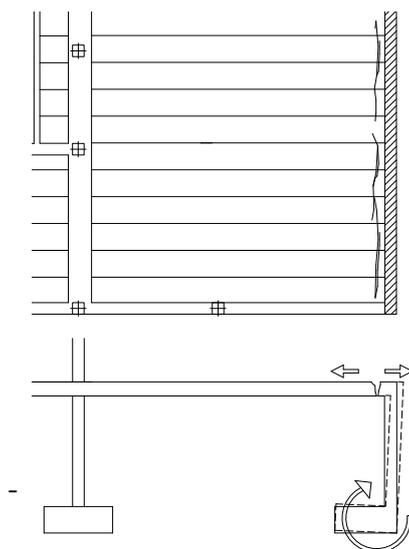
- RIESGO DE DESPRENDIMIENTO O CAÍDA DE PETOS DE REMATE Y CORNISAS (2 lesiones sobre 197 → 1,0%): la disposición errónea del armado o una pésima solución constructiva ocasiona este tipo de lesión. Se considera una lesión importante pues puede ocasionar daños a los viandantes, sobre todo en el caso de cornisas, que se consideraba muy grave.



- APOYO INCORRECTO EN MURO DE FÁBRICA (1 lesión sobre 197 → 0,5%): producida por el asiento y el giro hacia el exterior del muro de fábrica sustentante. La fisuración se produjo paralela a la dirección de forja ante la inexistencia de un armado de negativos transversal y como resultado de la incorrecta evaluación del grado de empotramiento del forjado en el apoyo.



- ROTURA DE NEGATIVOS (1 lesión sobre 197 → 0,5%): lesión atípica causada por el asiento de un muro de hormigón acompañado del giro del cimientto hacia el exterior. En este caso se produjo una tensión muy superior a la proyectada para las armaduras de negativos.



- ROTURA POR ANCLAJE INSUFICIENTE (1 lesión sobre 197 → 0,5%): se pudo concretar el problema en una intervención posterior a la inspección.



- ROTURA POR FLEXIÓN EXCESIVA CON FORMACIÓN DE RÓTULA PLÁSTICA (1 lesión sobre 197 → 0,5%): Causada por la falta de rigidez de la unión unido a un anclaje insuficiente, dato que fue corroborado en una intervención posterior a la propia inspección técnica; se consideró una lesión grave.



- ROTURA POR CORTANTE (1 lesión sobre 197 → 0,5%): Si bien en la foto solo se aprecia la viga, la rotura afectaba al forjado. Causada por una inexplicable ausencia de estribos, dato que fue corroborado en una intervención posterior a la propia inspección técnica; requirió una intervención inmediata.



- ROTURA POR COQUERAS MÚLTIPLES (1 lesión sobre 197 → 0,5%): Causadas por un hormigonado seco y/o un vibrado muy defectuoso. Inicialmente, esta lesión se había considerado vinculada a un caso de deformación excesiva, pero la acusada vibración del paño unido a una fisuración progresiva e inexplicable condujo unos meses después a la revisión del caso; requirió una intervención inmediata.



- ROTURA DE VIGUETAS (1 lesión sobre 197 → 0,5%): Causadas por la falta de armadura de conexión combinado con el desmochado a golpes de la misma. Se asignó una calificación de leve por ser un caso aislado dentro del paño.



- FISURACIÓN POR ARMADO INCORRECTO (1 lesión sobre 197 → 0,5%): la ejecución de un nuevo forjado a distinto nivel sin analizar la capacidad portante de la viga de apoyo existente generó la fisuración de ésta y la acusada deformación del forjado sustentado. En este caso hubo que proceder al refuerzo del elemento.



- FISURA EN UN PAÑO DE FORJADO A BASE DE PANELES PREFABRICADOS (1 lesión sobre 197 → 0,5%): un caso peculiar que afectó a una planta sótano de garaje en la ciudad de Vigo, motivado por una posible retracción hidráulica durante su ejecución. Al estar estabilizada se consideró leve.



## **5.- CONCLUSIONES.**

5.1- CONCLUSIONES A LOS ANÁLISIS REALIZADOS

5.2- COMPARATIVA CON OTROS ESTUDIOS ESTADÍSTICOS

5.3- COROLARIO

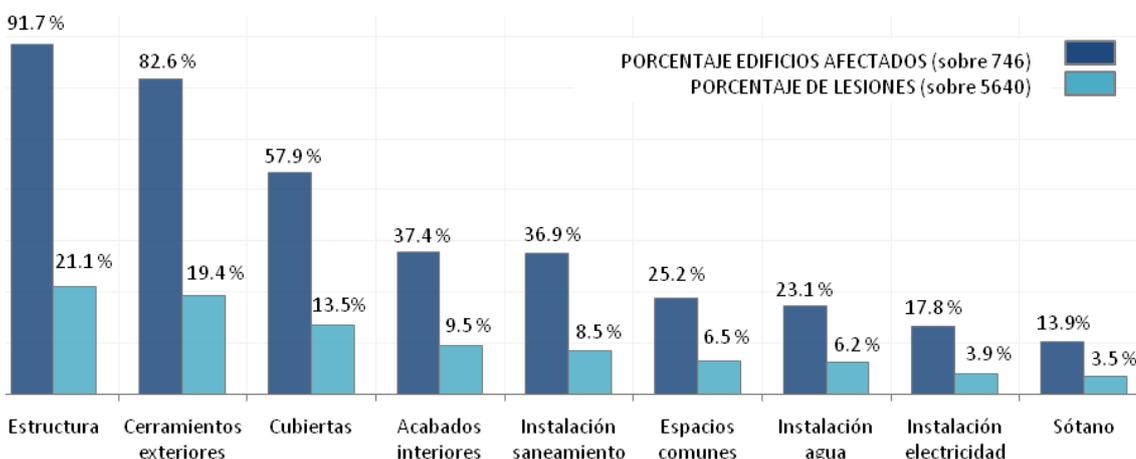
## 5.1 – CONCLUSIONES A LOS ANALISIS REALIZADOS.

### 5.1.1- CONCLUSIONES SOBRE LA PATOLOGIA GLOBAL DEL EDIFICIO

Las conclusiones de este apartado están referidas a la población total de 746 edificios y en base al estudio estadístico corregido por subsistemas.

**A) ORIGEN DE LAS LESIONES** (Análisis 4.1a): aunque el subsistema del edificio con mayor manifestación de síntomas de patología es el correspondiente a Cerramientos Exteriores, seguido por Acabados Interiores y Cubierta, esta tesis concluye inequívocamente que el Subsistema Estructura es el origen, de forma directa e indirecta, del mayor número de edificios afectados (91,7%) y de lesiones (21,1%) sobre la población referenciada.

La explicación se encuentra en cierta ambigüedad por parte de los técnicos que no son especialistas en materia estructural a la hora de cualificar una lesión entre ubicación de la sintomatología detectada (lugar) y el origen real de la misma (causa).



**B) PORCENTAJES DE LESIONES** (Análisis 4.1b): la presente tesis concluye que, junto con la Estructura, los subsistemas que conforman la envolvente exterior del edificio (Cerramientos Exteriores, Sótano, Cubierta) acumulan del orden del 60% del total de las lesiones detectadas en la población estudiada. Por el contrario, el conjunto de subsistemas relativos a las instalaciones interiores (se recuerda que el Saneamiento comparte exterior e interior) alcanza un discreto 15% de las lesiones detectadas.

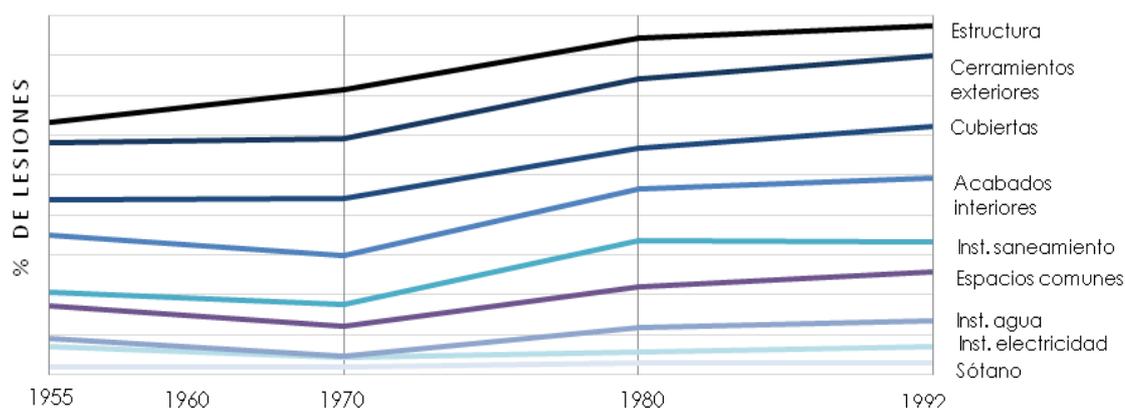
**C) INCIDENCIA DE LA LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL EDIFICIO (Análisis 4.2):**

El estudio estadístico de las lesiones, pormenorizado por provincias y subsistemas, demuestra inexorablemente que se producen sintomáticas diferencias en el número y características de las lesiones analizadas si se contemplan dos aspectos fundamentales en la patología:

- Condicionantes geográficas (costa/interior): parámetros como la temperatura, el índice pluviométrico, el viento, la exposición solar y el ataque químico ambiental provocan o agravan numerosos daños en los materiales constructivos expuestos.
- Técnicas constructivas locales: otros parámetros como la adecuación correcta o no de los materiales, la solución proyectada de los diseños constructivos o el nivel de control sobre la ejecución de la obra también resultan relevantes en este proceso.

**D) INCIDENCIA DE LA ANTIGUEDAD DEL EDIFICIO (Análisis 4.3):**

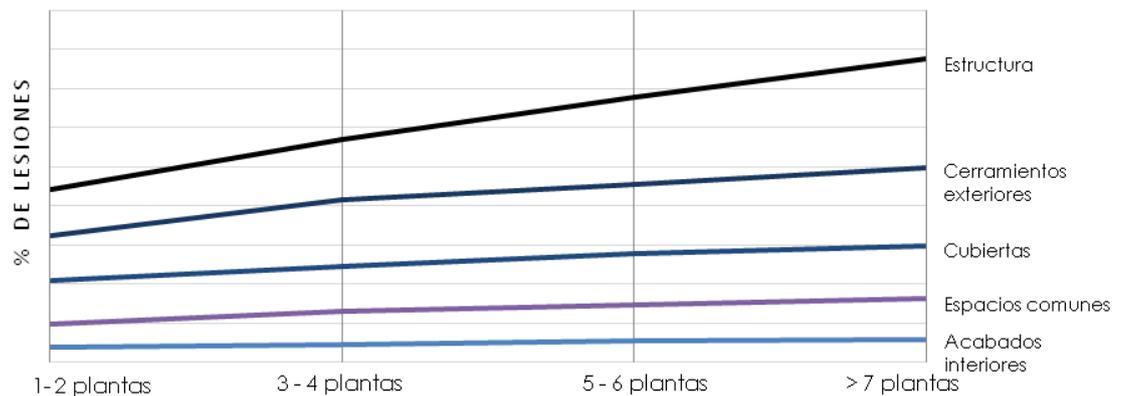
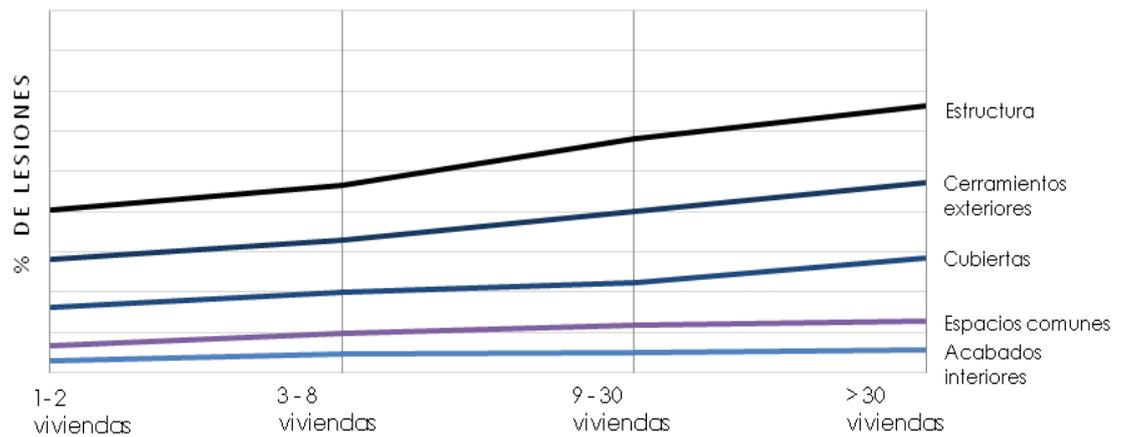
a mayor edad del edificio esta tesis demuestra, sin ningún género de dudas, que todos los Subsistemas Constructivos presentan una clara tendencia al alza en el número de lesiones detectadas.



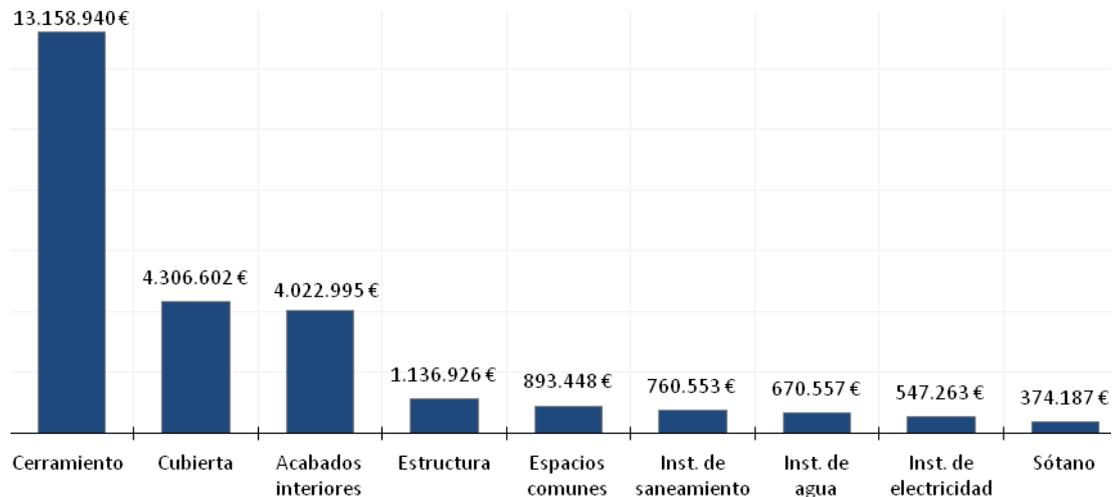
No obstante, la evolución de las normativas en el caso de la estructura de hormigón (en el ámbito de la deformación pero no en el de la durabilidad) y las intervenciones de reparación y mantenimiento por parte de los usuarios, han amortiguado el incremento de las mismas.

**E) INCIDENCIA DE LA ENTIDAD DEL EDIFICIO (Análisis 4.4):** en el período estudiado, para todos los Subsistemas Constructivos se concluye estadísticamente que, a mayor entidad y complejidad constructiva, el número de daños crece progresivamente.

El crecimiento más significativo se produce para los Subsistemas Cerramientos Exteriores, Cubiertas y Estructura; para este último adquiere más relevancia el análisis por número de plantas que por el número de viviendas.

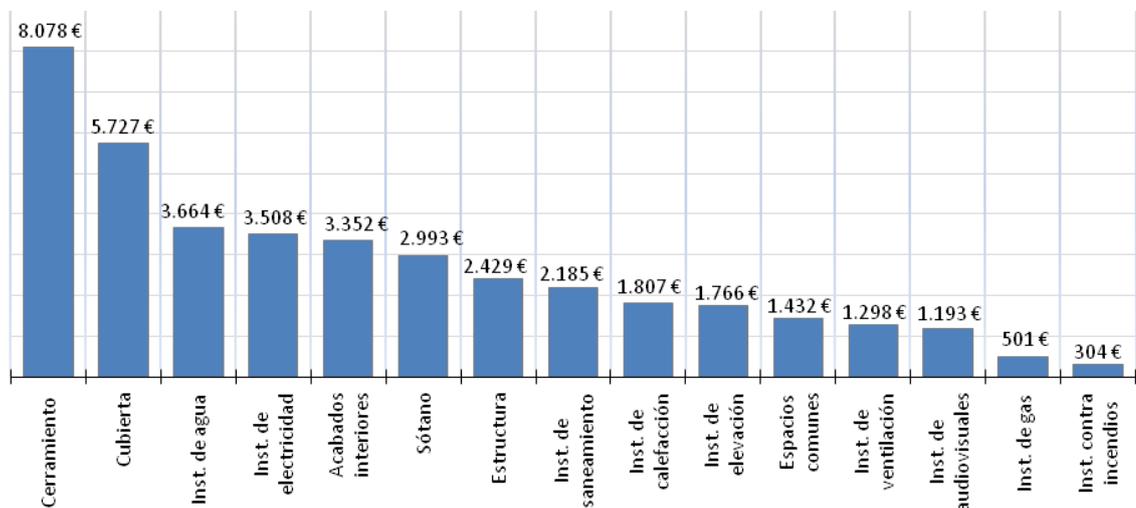


**F) COSTE TOTAL DE LAS REPARACIONES (Análisis 4.5a):** el importe final de la reparación de los daños por subsistemas sitúa a los Cerramientos Exteriores y, en un segundo término a Cubiertas y Acabados Interiores, como los subsistemas más onerosos del edificio debido a la extensión de la superficie a reparar. El resto de subsistemas, incluida la estructura, arrojan una repercusión económica claramente inferior.

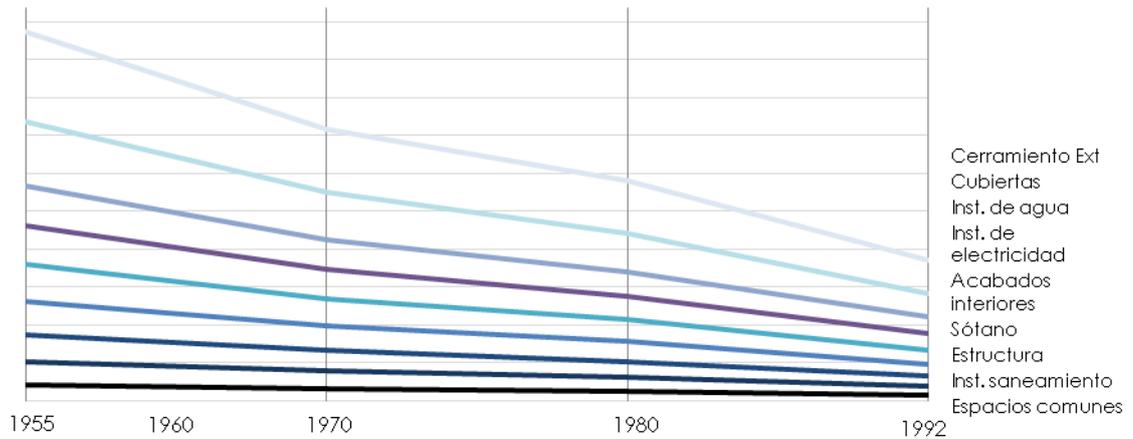


**G) COSTE MEDIO DE LAS REPARACIONES (Análisis 4.5b):** el valor medio de las reparaciones del subsistema Cerramientos Exteriores es el más elevado, seguido del de Cubiertas, debido a la necesidad de incorporar medios auxiliares en la reparación de los daños: grúas, andamios y sistemas de protección.

El Coste Medio de las reparaciones de subsistemas a priori con baja incidencia en el número de lesiones como las Instalaciones de Electricidad, de Agua y Sótano se destacan en este caso en un segundo término.

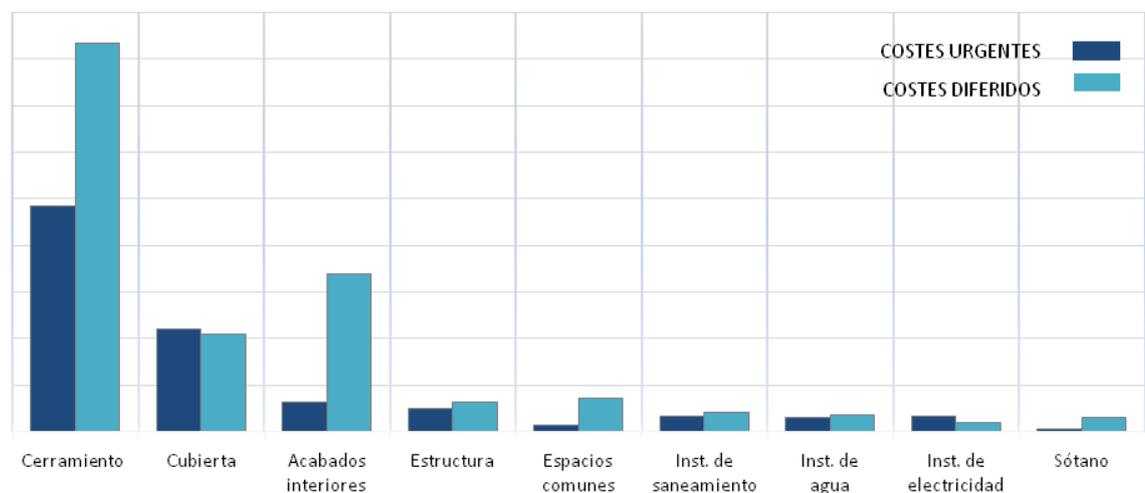


**H) COSTE MEDIO EN RELACIÓN A LA ANTIGÜEDAD DEL EDIFICIO (Análisis 4.5c):** el importe medio de las reparaciones aumentan proporcionalmente con el paso del tiempo en base a que la mayoría de las lesiones se extienden y/o agravan.



**I) COSTE MEDIO EN RELACIÓN AL AREA GEOGRAFICA (Análisis 4.5d):** el presente trabajo concluye que el Coste Medio de las reparaciones en función del área geográfica donde esté ubicado el edificio no presenta variaciones significativas.

**J) COSTE DIFERIDO O URGENTE (Análisis 4.5e):** en base a al apremio en la reparación de los daños los subsistemas Cerramientos Exteriores y Acabados Interiores permiten mayor demora del gasto. En el resto, se equiparan ambos costes en torno al 50%.



### 5.1.2- CONCLUSIONES SOBRE LA PATOLOGIA GENERAL DE LA ESTRUCTURA

Las conclusiones estadísticas de este apartado están referidas a la muestra de 310 edificios estructuralmente afectados, de los 746 que componían la población inicial en estudio.

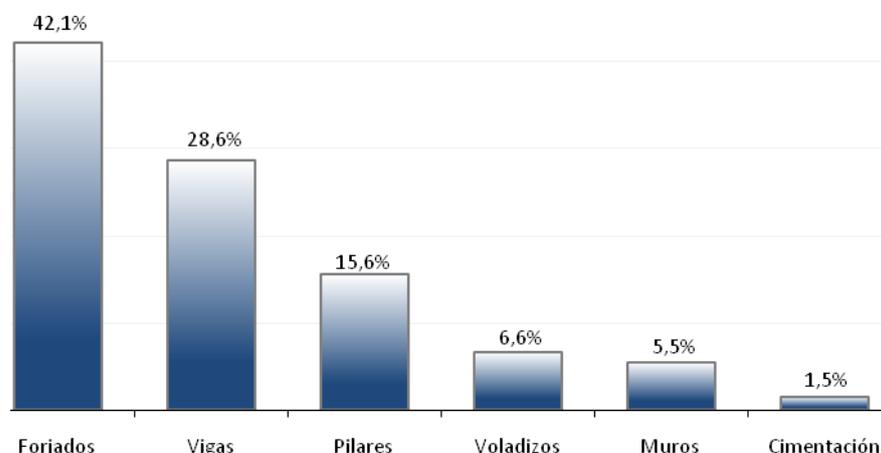
Se recuerda que, si bien la estadística corregida ha permitido reasignar al subsistema estructural los daños indirectos que erróneamente habían sido atribuidos a los subsistemas Acabados Interiores y Espacios Comunes (principalmente pavimentos, tabiquerías y falsos techos), no ha permitido discernir los porcentajes individualizados que afectan a cada uno de los elementos estructurales.

**A) PORCENTAJE DE LESIONES** (Análisis 4.6a): El Forjado de hormigón armado es, de forma inexorable, el elemento estructural más sensible, presentando un 42,1% de las lesiones del subsistema estructura en la muestra de referencia.

El conjunto de las Vigas, en segundo lugar, acumulan un 28,6% de las mismas. No obstante los datos estadísticos no han permitido discernir las lesiones asociadas al uso de vigas planas o de canto.

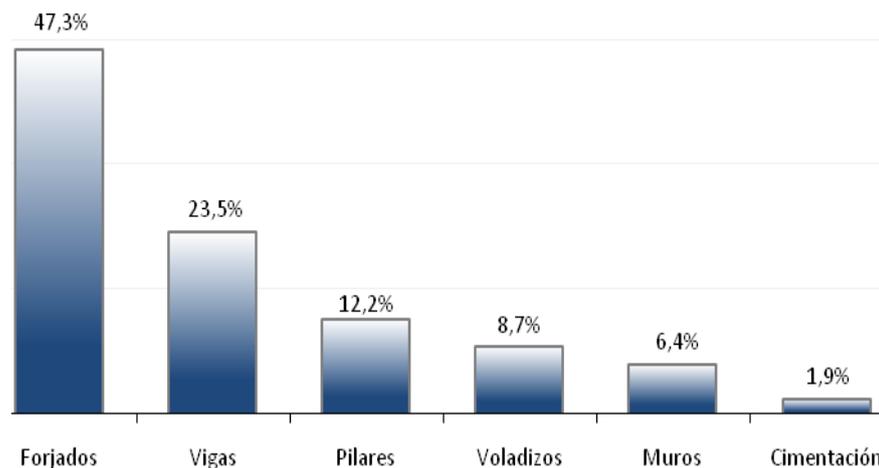
Los pilares ocupan un discreto tercer puesto con un total del 15,6% de las lesiones, mientras que los voladizos el 6,6%, los muros el 5,5% y la patología de cimentación ha resultado meramente anecdótica con un 1,5%.

Dado que vigas, voladizos y forjados conforman un único sistema estructural en la mayoría de los casos, se concluye que la estructura horizontal engloba del orden del 75% de los daños en la muestra de referencia.

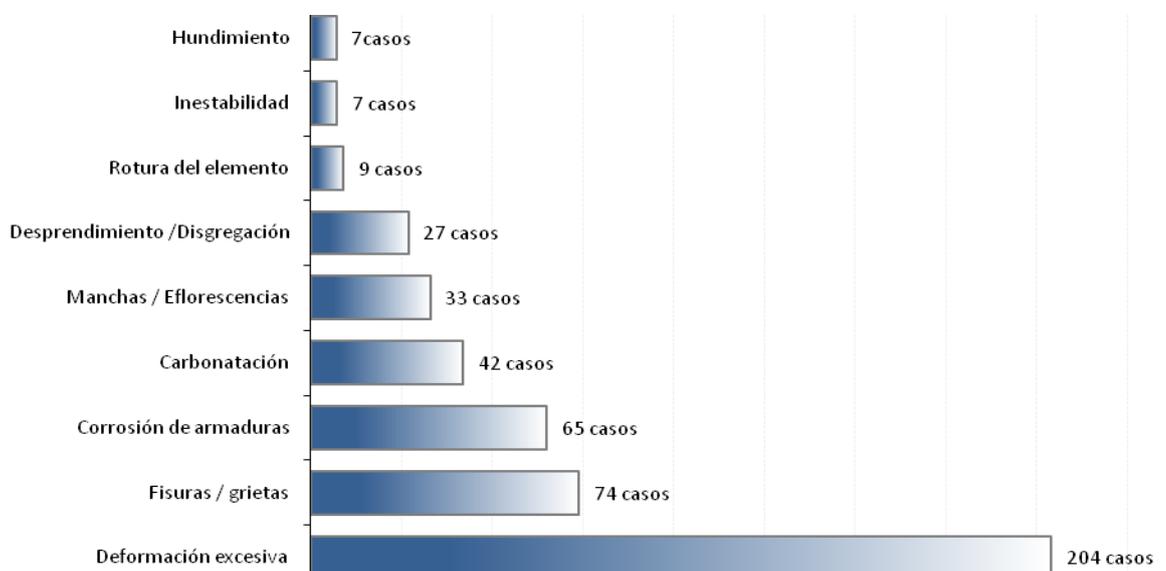


**B) PORCENTAJE DE EDIFICIOS AFECTADOS** (Análisis 4.6b): Ha quedado estadísticamente demostrado que el número de edificios afectados por los daños de la patología del propio forjado alcanzan el 47,3% de la muestra (310 edificios); es decir, prácticamente la mitad de la población.

Los problemas devenidos de las vigas también han resultado importantes sobre los edificios de la muestra (23,5%); sin embargo, pilares (12,2%), voladizos (8,7%), muros (6,4%) y sobre todo la cimentación (1,9%), arrojan una incidencia relativamente baja en el cómputo global de la patología estructural.



**C) SINTOMATOLOGIA** (Análisis 4.7): La más relevante de la muestra, sin lugar a dudas, ha sido la deformación excesiva, acumulando 204 casos (44% del conjunto). Se ha manifestado en un 68% de los forjados, un 43% en las vigas y un 38% en los voladizos.



El segundo síntoma más importante con 74 casos (16% del conjunto) consistiría en la fisuración de elementos, si bien este fenómeno está íntimamente vinculado con la deformación excesiva. Se manifiesta en un 11% de los forjados, un 22% en las vigas, un 16% en los voladizos y un 18% en pilares.

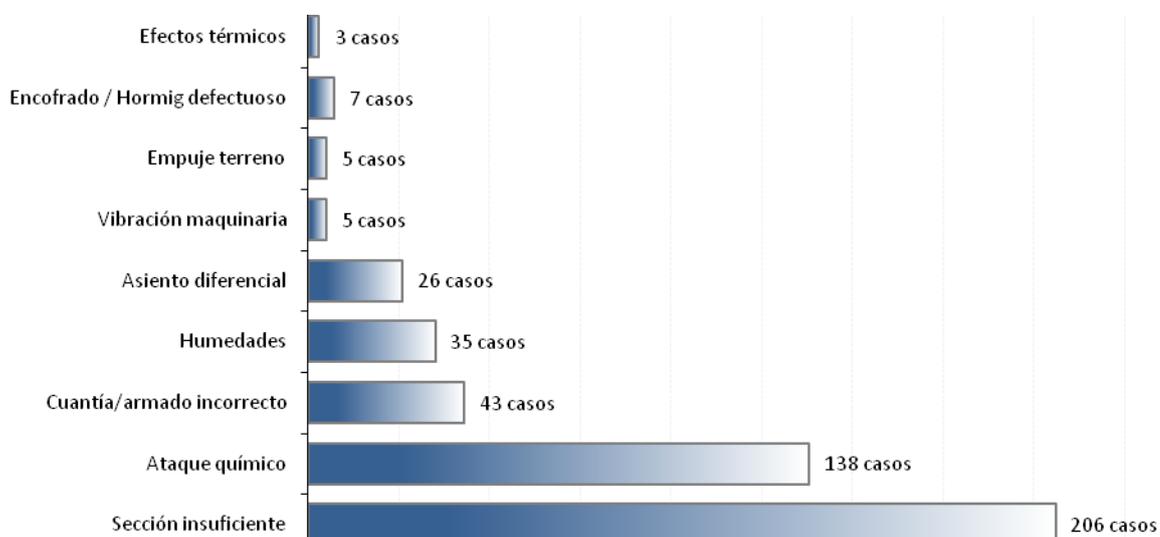
El tercer grupo predominante aglutina la sintomatología relativa a la degradación del hormigón armado. Esta agrupación se explica porque el desprendimiento del recubrimiento (27 casos), las eflorescencias (33 casos), la carbonatación (42 casos) y la corrosión de las armaduras (65 casos), se pueden englobar en un único proceso continuo en el tiempo.

Desde esta perspectiva se agruparían 167 casos de sintomatología (36% del conjunto) por degradación del material, presente en el 18% en los forjados, el 33% en vigas, el 76% en pilares, el 45% en voladizos y el 61% en muros.

La sintomatología relativa a hundimientos, inestabilidad y rotura de elementos agrupa tan solo 23 casos con una discreta incidencia del 5%.

**D) CAUSAS (Análisis 4.7):** La causa de patología estructural predominante es, sin lugar a dudas, la sección insuficiente (en forjados, vigas y voladizos) englobando 206 casos de lesiones (44% del conjunto). Resultando así el origen principal en un 68% de las lesiones en forjados, un 44% en las de vigas y un 42% en los voladizos.

En segundo término también adquiere gran relevancia el ataque químico sobre elementos expuestos como origen de 138 casos de lesiones (30% del conjunto), distribuidos en un 10% de las lesiones en forjados, un 33% en las de vigas, un 85% en el caso de los pilares y un 32% en los voladizos.

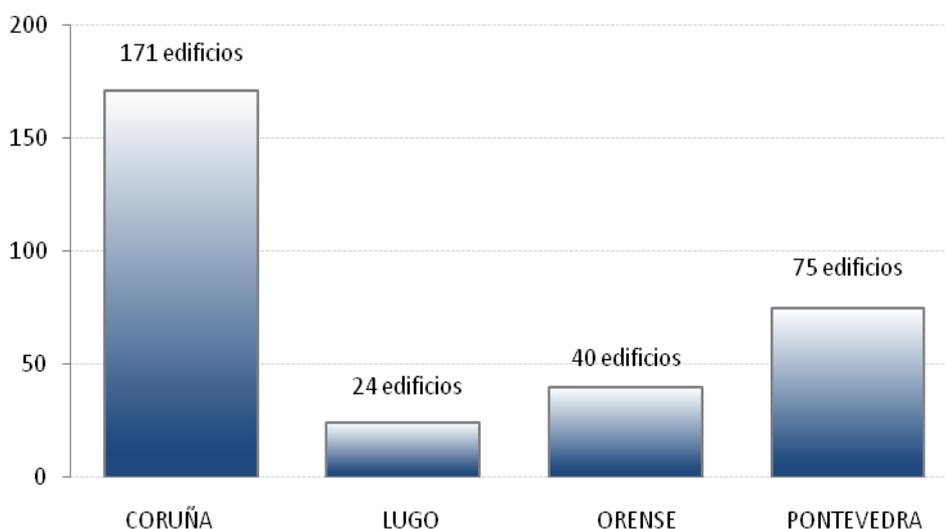


En otro orden de magnitud se sitúan como causas prevalentes de las lesiones la cuantía insuficiente o el armado incorrecto en 43 ocasiones (10% de lesiones), las humedades en 35 casos (8% de lesiones) y los asientos diferenciales con 26 casos (5% de lesiones).

Entre las causas de baja incidencia se encuentran 20 casos (4% de lesiones) que engloban las vibraciones, los efectos térmicos, el empuje del terreno, los problemas de hormigonado y/o el encofrado incorrecto.

**E) INCIDENCIA DE LA LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL EDIFICIO (Análisis 4.8):**

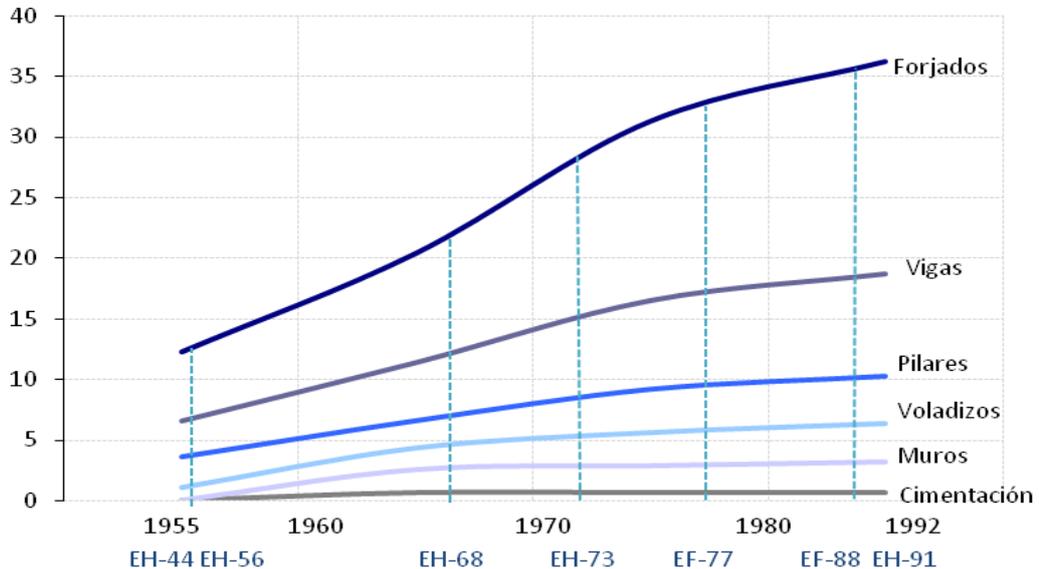
Se constatan variaciones muy importantes en relación a la degradación del hormigón en los elementos expuestos al ataque químico marino, en las áreas costeras de Coruña y Pontevedra. Si bien esta conclusión resulta firmemente avalada por la experiencia durante el proceso de inspección, la realidad es que no ha sido posible cuantificarlo al no discernir la base de datos los elementos estructurales expuestos de los protegidos.



La distribución analizada también demuestra que, en los elementos flectados y sometidos a deformación, los daños resultan prácticamente uniformes en todo el área gallega; en el caso de los forjados ( $\pm 1,3\%$ ), vigas ( $\pm 0,8\%$ ) y voladizos ( $\pm 0,4\%$ ).

En los muros de sótano, sometidos a filtraciones y humedades, se producen variaciones ( $\pm 6\%$ ) según el área geográfica, en función del grado de urbanización (alcantarillado y recogida de pluviales) y la concentración o la dispersión urbana.

**F) INCIDENCIA DE LA ANTIGUEDAD DEL EDIFICIO (Análisis 4.9):** se ha demostrado que los elementos estructurales manifiestan una clara tendencia al alza en el porcentaje de sus lesiones en el periodo estudiado (1955-1992). No obstante, esta evolución no afecta igual a todos los elementos estructurales:

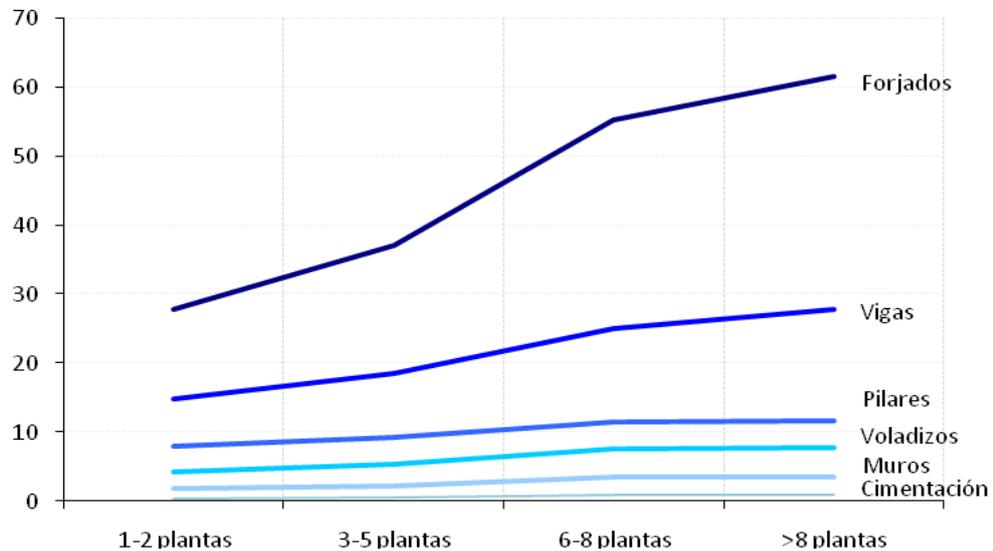


En los elementos protegidos, la deformación excesiva en forjados, con el agravante de la incorporación de la viga plana y el problema de la flecha diferida, es la responsable de una tendencia al alza de las lesiones muy acusada y progresiva en el tiempo (de 5,8 en 1955 a 17,4% en 1992). En el caso de las vigas, al no discernir la base de datos entre planas o de canto, la tendencia al alza resulta menos acusada (de 2,9 a 8,5%).

En los elementos poco protegidos el factor más influyente ha sido la degradación del material frente al ataque químico ambiental; si bien este dato queda ampliamente contrastado por la experiencia durante el proceso de inspección, la base de datos no ha permitido discernir entre los elementos protegidos o expuestos. Por ello, la estadística no arroja valores esclarecedores en el periodo estudiado, ni en el caso de los pilares (evolución de los daños de 2,6 en 1955 a 3,9% en 1992) ni en el caso de los voladizos (de 1,7 a 3,1%).

El caso de los muros de sótano (de 1,9 a 2,6%) y, sobre todo los cimientos (de 0,6 a 0,7%), la tendencia al alza de sus porcentajes de daños resulta prácticamente inexistente con el paso del tiempo.

**G) INCIDENCIA DE LA ENTIDAD DEL EDIFICIO (Análisis 4.10):** se concluye que la evolución sobre el porcentaje de lesiones en función del número creciente de plantas solo tiende al alza en algunos elementos estructurales:

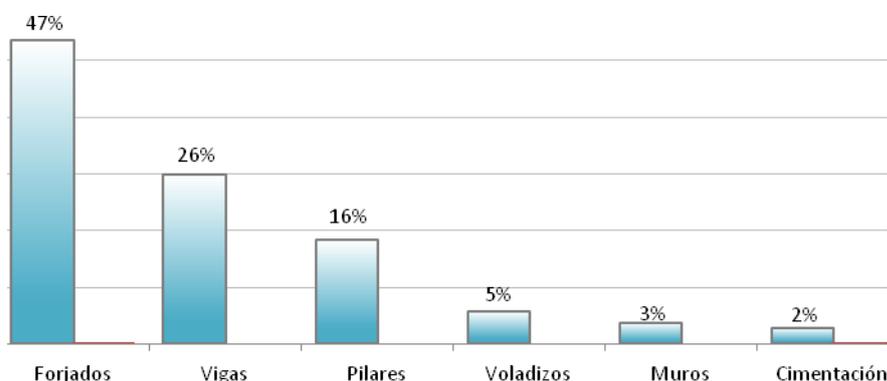


En el caso de los elementos flectados y sometidos a deformación, como el forjado (de 12,9 a 33,7%) y las vigas (de 6,8 a 16,0%), la explicación se encuentra en el problema de la deformación excesiva derivada de la acumulación de los arcos de descarga desde las plantas superiores a las inferiores. Ni el canto ni la rigidez del forjado se han adecuado tradicionalmente en función de la altura del edificio.

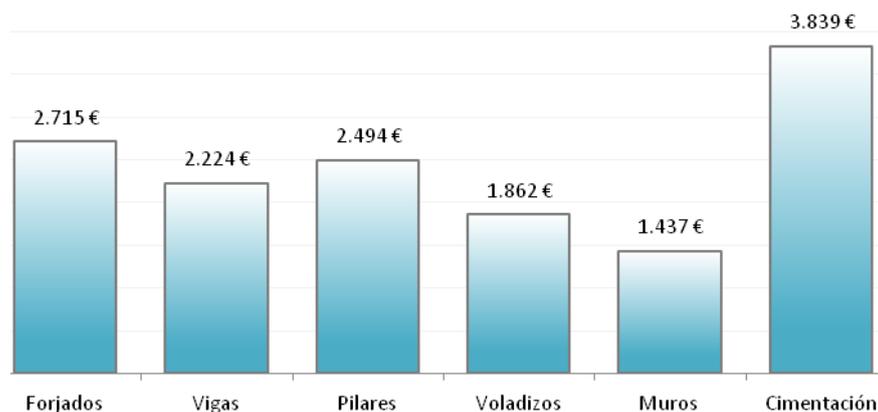
El resto de los elementos en estudio como los pilares (de 3,6 a 3,9%), voladizos (de 2,4 a 4,3%), muros (de 1,5 a 2,6%) y cimientos (de 0,5 a 0,9%) no arrojan variaciones relevantes de daños en función del número creciente de plantas.

No obstante, en el caso de los voladizos, los resultados estadísticos hay que asumirlos con cierta cautela, por cuanto las fisuraciones sobre los cerramientos de fachada producidas en los voladizos de las plantas inferiores por efecto de los semiarcos de descarga se han asignado, generalmente, a lesiones del subsistema Cerramientos Exteriores.

**H) COSTE TOTAL DE LAS REPARACIONES (Análisis 4.11):** los costes por elemento estructural de la muestra reflejan correlativamente la afección de lesiones detectadas en cada uno de ellos, siendo el montante más elevado el correspondiente al forjado (47%), seguido por las vigas (26%), pilares (16%), voladizos (5%), muros (3%) y el menor el correspondiente a cimentación (2%).



**I) COSTE MEDIO DE LAS REPARACIONES (Análisis 4.11):** El valor más elevado corresponde a la cimentación (55% por encima de la media), motivado tanto por la complejidad inherente a la reparación como a su repercusión sobre otros elementos del edificio.

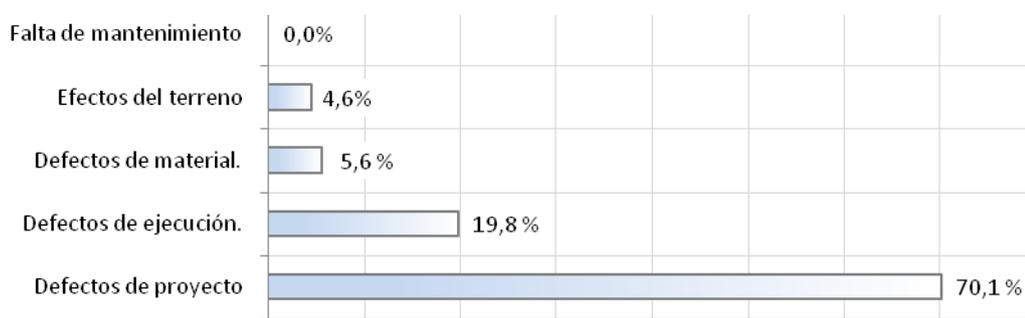


El Coste Medio en el caso de forjados, pilares y vigas son valores relativamente equiparables y se sitúan en valores intermedios (110, 100 y 90% respectivamente, comparado con la media), mientras que los voladizos y los muros arrojan valores medios menores (75 y 58% respectivamente).

### 5.1.3- CONCLUSIONES SOBRE LA PATOLOGIA PARTICULAR DEL FORJADO

**Las conclusiones estadísticas de este apartado están referidas a la muestra de 197 lesiones sobre forjados, 128 de las cuales corresponden a la deformación excesiva del mismo. Todos estos datos están enmarcados en la población de 746 edificios que componían inicialmente el estudio.**

**A) ORIGEN TECNICO DE LOS DAÑOS (Análisis 4.12):** Los daños originados en la Etapa de Proyecto del forjado engloban el 70,1% del cómputo total de las lesiones. En este grupo destacan sobremanera la sección insuficiente (78%) y muy por detrás el diseño incorrecto del mismo (18%). Los errores de cálculo y/o armado (3,6%) así como los derivados de la estimación incorrecta de acciones resultan insignificantes (0,7%).



Los daños cuyo origen técnico radica en la Etapa de Ejecución acumulan el 19,8% del total de las lesiones. Estos se distribuyen en las disposiciones constructivas incorrectas (77%) y los errores en la puesta en obra y curado del hormigón (23%).

Los daños cuyo origen técnico radica en los Defectos del Material (5,6%) o los relativos a Efectos del Terreno (4,6%) presentan una incidencia muy baja.

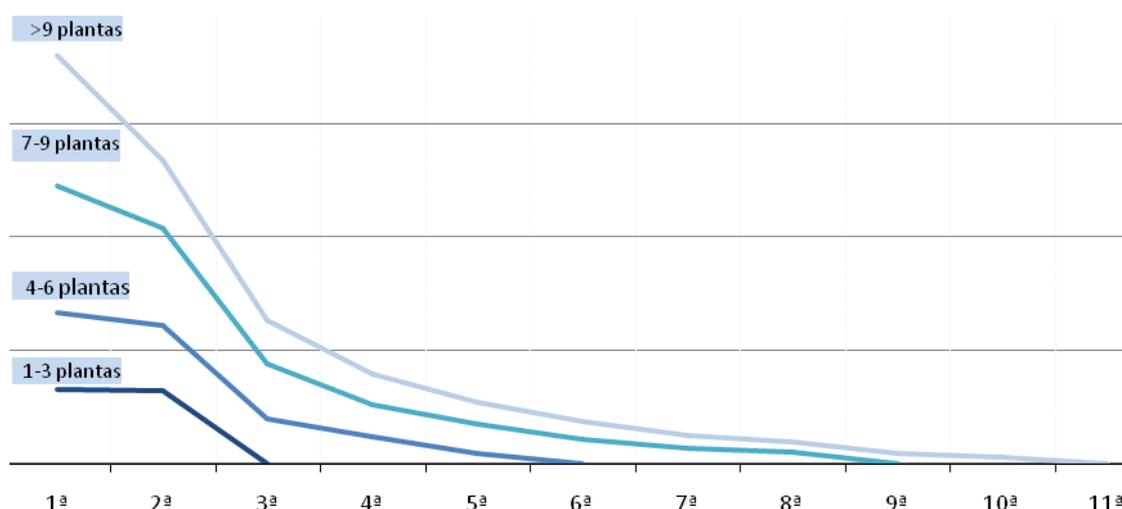
**B) GRAVEDAD DE LAS LESIONES (Análisis 4.13):** Sobre la muestra de daños asignados a forjados son consideradas Leves el 75%, Importantes el 20% y Graves el 5%.

Así, se puede concluir que el 95% de las lesiones no genera una patología de riesgo, dado que al trabajar preferentemente bajo flexión, el forjado presenta una capacidad de preaviso muy elevada además del hecho de que la deformación tiende a estabilizarse con los años.

**C) URGENCIA EN LA INTERVENCION** (Análisis 4.14): Sobre la muestra de daños asignados a forjados, el apremio en la reparación de lesiones se ha considerado: Diferido (inferior a tres años), en el 74% de las mismas; Urgentes (inferior a un año), en el 24%; e Inmediatas, en el 2%. No obstante éstas últimas tan solo conllevaban la necesidad urgente e ineludible de una diagnosis rigurosa.

Por lo tanto, se puede concluir que el forjado es un elemento que en torno al 98% de los casos no requiere una intervención apremiante, dada la tipología habitual de sus lesiones.

**D) INFLUENCIA DEL NUMERO DE PLANTAS** (Análisis 4.15): Se puede afirmar de forma concluyente que, para edificios de cuatro o más alturas sobre rasante, las lesiones asociadas a la deformación excesiva se producen inequívocamente en la primera planta (40%) y, en menor medida, en la segunda (23%) y tercera plantas (12%). La explicación no es otra que la influencia de la acumulación de los arcos de descarga desde las plantas superiores hacia las inferiores a través de las tabiquerías, cuando la planta inferior es diáfana.



Igualmente se concluye que esta problemática se ve ciertamente amortiguada a partir de la planta segunda en las edificaciones más altas (>9 plantas). Esto es debido a que los edificios con esta tipología estructural, tradicionalmente, han sido subcontratados a especialistas.

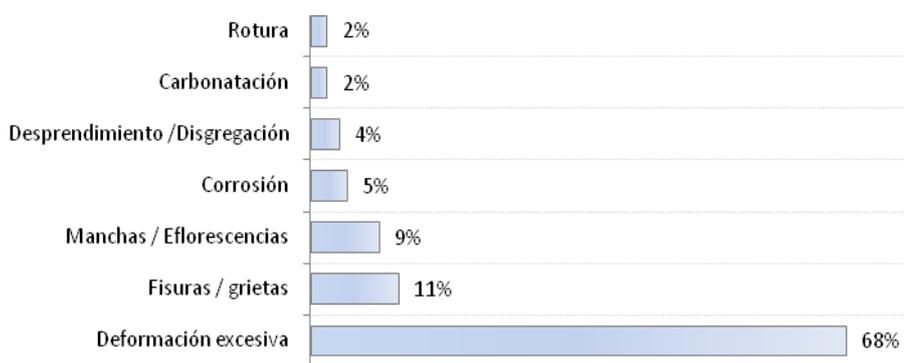
A la par, el estudio demuestra un repunte de la incidencia de daños en el forjado superior de cada tipología (excepto en la de 1 a 3 plantas), debido a dos situaciones diferentes de cargas no contempladas en proyecto: el uso abusivo de trasteros de almacenaje y la construcción tradicional de cubiertas

descargadas sobre el forjado del bajo cubierta a través de tabiquerías cerámicas.

**E) SINTOMATOLOGÍA** (Análisis 4.16): se concluye que en el caso del forjado la Deformación Excesiva destaca de forma incuestionable en el 68% de las lesiones de la muestra.

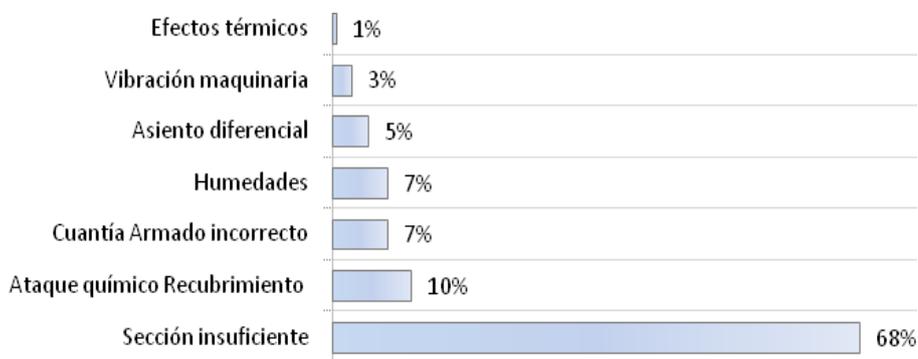
Si bien la fisuración de diversa índole ocupa el segundo lugar con un discreto 11%, se debe considerar que si se agrupan los síntomas que aglutinan el fenómeno de la Degradación del Hormigón (disgregación, desprendimientos, eflorescencias, carbonatación y corrosión metálica) suponen el 20%.

La rotura de elementos arroja un valor ínfimo del 2%.



**F) CAUSAS DE LAS LESIONES** (Análisis 4.16): se concluye, sin ningún género de dudas, que la principal causa que origina daños en el forjado es la Sección Insuficiente englobando al 68% de las lesiones.

En un segundo término, el Ataque Químico y los Desprendimientos del Recubrimiento alcanzaron un 10%, los problemas derivados de la Cuantía o Armado Incorrecto un 7% y las Humedades otro 7%.



Los efectos derivados del Asiento de Cimentación han supuesto un 5%; las Vibraciones y los Efectos Térmicos apenas presentan incidencias relevantes, siendo del 3% en el primer caso y del 1% en el segundo.

## 5.2 – COMPARATIVA CON OTROS ESTUDIOS ESTADÍSTICOS.

Dado el carácter estadístico de la presente tesis resulta inevitable intentar establecer una comparativa con otros estudios similares previos para conocer de una forma global el nivel de siniestrabilidad de la estructura de hormigón armado del parque inmobiliario. Ahora bien, como vimos en el capítulo correspondiente, aunque numerosos autores han profundizado en el tema de la patología en edificación estableciendo las bases de la metodología sobre el levantamiento de datos y la catalogación de lesiones, no ha ocurrido así en cuanto a los sistemas de cuantificación y homogeneización de resultados.

A modo de recordatorio, citar que Ruano (4) en 1997, apuntaba la necesidad de establecer una sistemática comparativa en la metodología de la diagnosis que se incorporase a la normativa europea. Los trabajos más recientes, como los de Grilo & Calmon (5) (2000); Antonelli, Carasek & Cascudo (6) (2002) ya tienden a desglosar los estudios por área geográfica, tipología edificatoria, edad de construcción y daños por subsistemas.

En general, hay que ser muy cauteloso a la hora de extrapolar datos numéricos de los distintos estudios sobre este tema y establecer correlaciones ralas y simplistas, para considerar diversos inconvenientes básicos:

- Los campos a tratar son claramente variables o reducidos en cada estudio estadístico: localización de lesión, sintomatología, causas, origen, costes de reparación, etc.
- El colectivo estadísticos de partida no coincide en muchos casos; en este estudio se ha reducido a la edificación residencial.
- El ámbito de estudio de las lesiones tampoco coinciden en muchos casos; en este caso resulta reducido a las estructuras de hormigón armado.
- Se utilizan metodologías diferentes a la hora de manipular la información; esta tesis se basa en un convenio oficial de Inspección Técnica de Edificios, en el cual se utilizó un cuestionario muy exhaustivo traducido a una herramienta informática común entre los arquitectos integrantes.
- Habitualmente no se llegan a concretar niveles de información referentes a sistemas constructivos, materiales afectados, síntomas ni causas claras de las lesiones; esta investigación sí los ha concretado convenientemente.

Para las estadísticas donde la suma de porcentajes en cada campo sea mayor que 100, se aplicarán los correspondientes valores reducidos, dividiendo cada dato numérico por la suma de porcentajes. Las estadísticas así obtenidas serán útiles, por afinidad, a efectos meramente comparativos.

**COMPARATIVA 5.3.1-** A nivel europeo se puede establecer un cierto paralelismo, y con todas las reservas, con las principales estadísticas francesas (B.C.S.C.) y belgas (S.E.C.O.). Cabe aclarar que ni el Periodo ni el Colectivo de estudio coinciden con el de esta tesis (sólo edificación residencial):

PORCENTAJE DE LESIONES (campos comparables)	B.C.S.C. 1948-74	S.E.C.O. 1965-75	TESIS 1955-92
Deformaciones excesivas	19,7	32	43,6
Fisuras/grietas	43,7	13	15,8
Defectos de corrosión/ataque químico	21,5	28	35,7
Errores de cálculo/rotura/inestabilidad	3,5	5	3,4
Reconocimiento geotécnico insuficiente	8,5	10	1,5
Otros	3,1	12	---

- Deformación excesiva: si bien es una problemática poco relevante en los primeros años de uso (empleo estándar de vigas de canto y luces comedidas), además de estar íntimamente vinculada al aumento de las luces, se vuelve más acusado a partir de finales de los setenta por la aparición de la viga plana.

Inicialmente los valores estadísticos no parecen muy homogéneos, si bien debemos matizarlos y corregirlos para que puedan ser contrastados.

- Fisuras y grietas: resultan aparentemente muy cuantiosas en el caso francés, mientras que son relativamente similares en esta tesis y en el caso belga. Igual que en el caso anterior, hay que explicar y corregir estos valores.

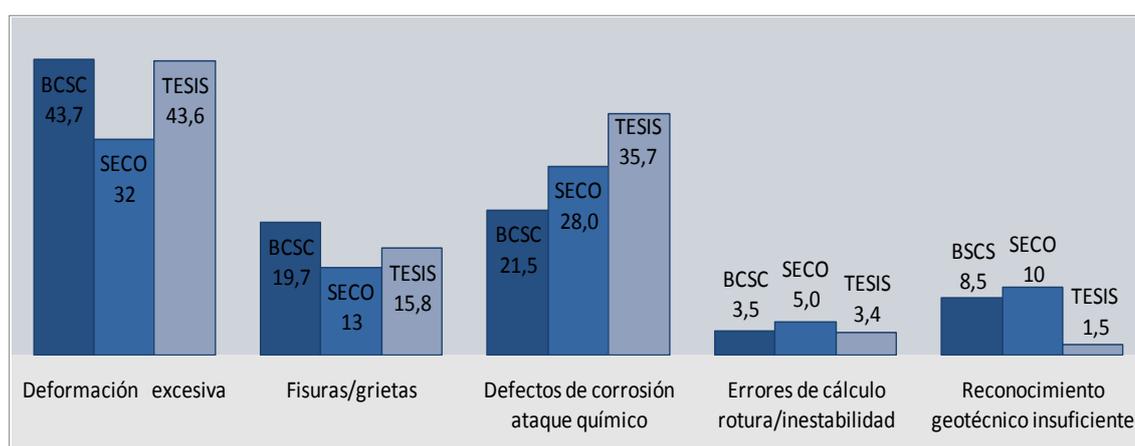
- Corrosión y ataque químico: se observa la importancia que adquieren, en las tres estadísticas contrastadas, los porcentajes de lesiones relativas a la durabilidad del hormigón armado.

- Cálculo, rotura o inestabilidad: resulta coincidente el bajo porcentaje de lesiones atribuidas a estos apartados en los tres casos.

- Reconocimiento insuficiente del terreno: en esta tesis, la notable diferencia de porcentaje puede estar relacionadas con nuestro ámbito geográfico del estudio; en general, el terreno gallego de cimentación resulta muy favorable unido al escaso empleo de cimentaciones profundas.

CONCLUSION: si bien en el Capítulo 3.1 tan solo se han aportado las estadísticas francesas (BCSC) resumidas por Jean Blevot (10), una lectura más detallada de las mismas aclara que la fisuración de tabiques y pavimentos (provocadas por la deformación del forjado) se han incluido en el subgrupo Fisuras/Grietas mientras que las Deformaciones Excesivas las refieren exclusivamente a fisuraciones en vigas.

Tras esta aclaración, e invirtiendo los valores que detalla Jean Blevot, los resultados ya son comparables entre los tres estudios. Es entonces cuando se puede concluir que son relativamente similares, sobre todo si consideramos en cada caso el periodo de estudio abarcado:



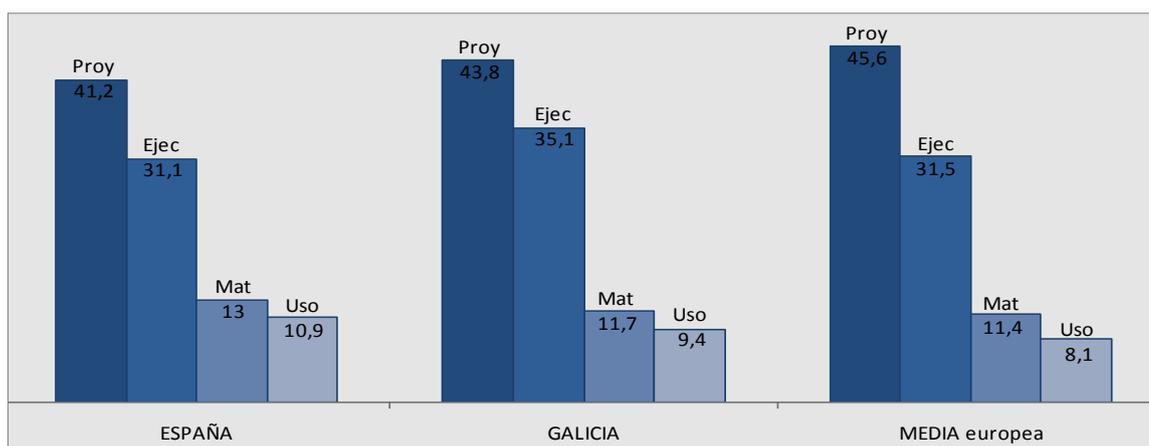
**COMPARATIVA 5.3.2-** A nivel europeo se puede establecer un paralelismo con los porcentajes relativos al origen de las lesiones.

Los datos correspondientes a País Vasco (España) corresponden a la tesis doctoral de J. A. Vieitez. Los correspondientes a Galicia I se refieren a datos sobre el total de edificios inspeccionados y los correspondientes a Galicia II se refieren a lesiones estrictas de los forjados:

PORCENTAJE DE DAÑOS EN FUNCIÓN DE SU ORIGEN TECNICO						
UBICACIÓN	PERIODO	Nº CASOS	CAUSAS DE LAS LESIONES (%)			
			Proyecto	Ejecución	Materiales	Utilización
Gran Bretaña	1974 - 84	510	49,1	29,6	10,1	9,3
Alemania	1970 - 80	1576	40,1	29,3	14,5	9,9
Bélgica	1974 - 78	3000	47,5	22,0	15,0	8,5
Francia	1968 - 78	10000	37,0	51,0	4,5	7,5
España	1963 - 83	586	41,2	31,1	13,0	10,9
<b>Galicia I</b>	<b>1955 - 92</b>	<b>746</b>	<b>43,80</b>	<b>35,1</b>	<b>11,70</b>	<b>9,4</b>
<b>Galicia II</b>	<b>1955 - 92</b>	<b>146</b>	<b>70,0</b>	<b>25,0</b>	<b>5,0</b>	<b>---</b>
MEDIA	--	--	45,6	31,5	11,4	8,1

- Proyecto: el valor medio gallego (43,8%) está ligeramente por encima del valor medio español (41,2%) y siendo el valor medio europeo (45,6%).
- Ejecución: el valor medio gallego (35,1%) es ligeramente superior al valor medio español (31,1%) siendo el valor medio europeo (31,5%).
- Materiales: el valor medio gallego (11,70%) es algo inferior al valor medio español (13,0%) siendo el valor medio europeo (11,4%).
- Mantenimiento: en la estadística gallega sobre forjados no han sido consignados datos a este apartado.

CONCLUSION: En términos genéricos y en el ámbito de la construcción de edificios en Galicia, las lesiones se encuentran en porcentajes similares a los españoles y a los europeos, para los períodos estudiados.



**COMPARATIVA 5.3.3-** Resulta igualmente ineludible una comparativa sobre la repercusión de lesiones por elemento estructural en el territorio español.

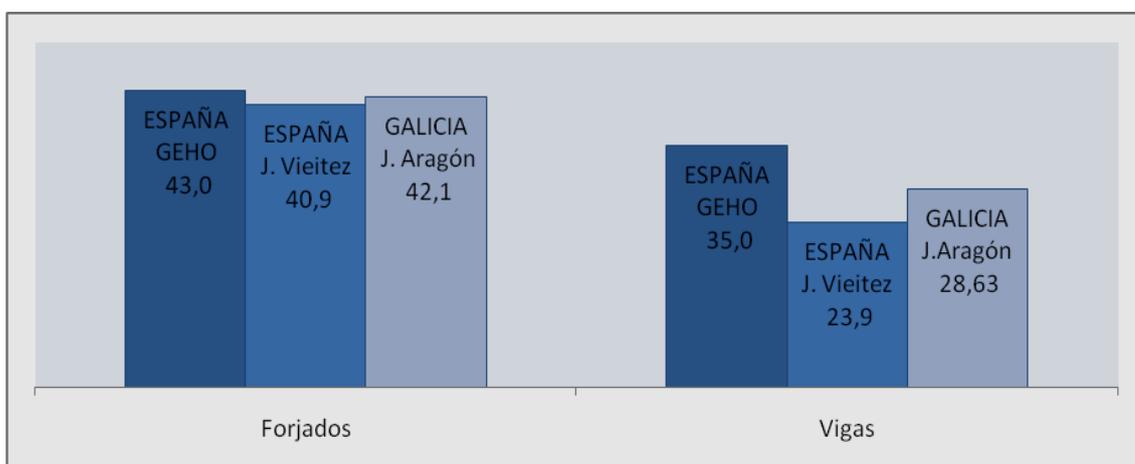
Hay que matizar que la tesis de J. Vieitez incluye forjados metálicos y mixtos, (aunque en una proporción inferior al 17%), mientras que en el presente trabajo todos los elementos analizados son de hormigón armado. En cualquier caso, la falta de rigidez o la deformación excesiva son problemas comunes a todas las tipologías de forjado:

PORCENTAJE DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES LESIONADOS			
campos comparables	ESPAÑA 1970-80 GEHO	ESPAÑA 1963-83 J. Vieitez	GALICIA 1955-92 J. Aragón
Forjados	43,0	40,9	42.10
Vigas	35,0	23,9	28.63
Pilares	30,0	13,6	15.60
Voladizos	---	---	6.62
Muros	---	---	5.55
Cimentación	7,0	19,0	1.50

Se observa una notable diferencia entre los valores relativos a la cimentación, aunque ya se há explicado que el suelo gallego es muy favorable y que básicamente se emplean cimentaciones superficiales, menos problemáticas.

En el análisis realizado por el grupo GEHO, resulta muy discordante el porcentaje de lesiones acumuladas en pilares con respecto al resto de estudios, sin que se haya encontrado ninguna explicación coherente a este hecho.

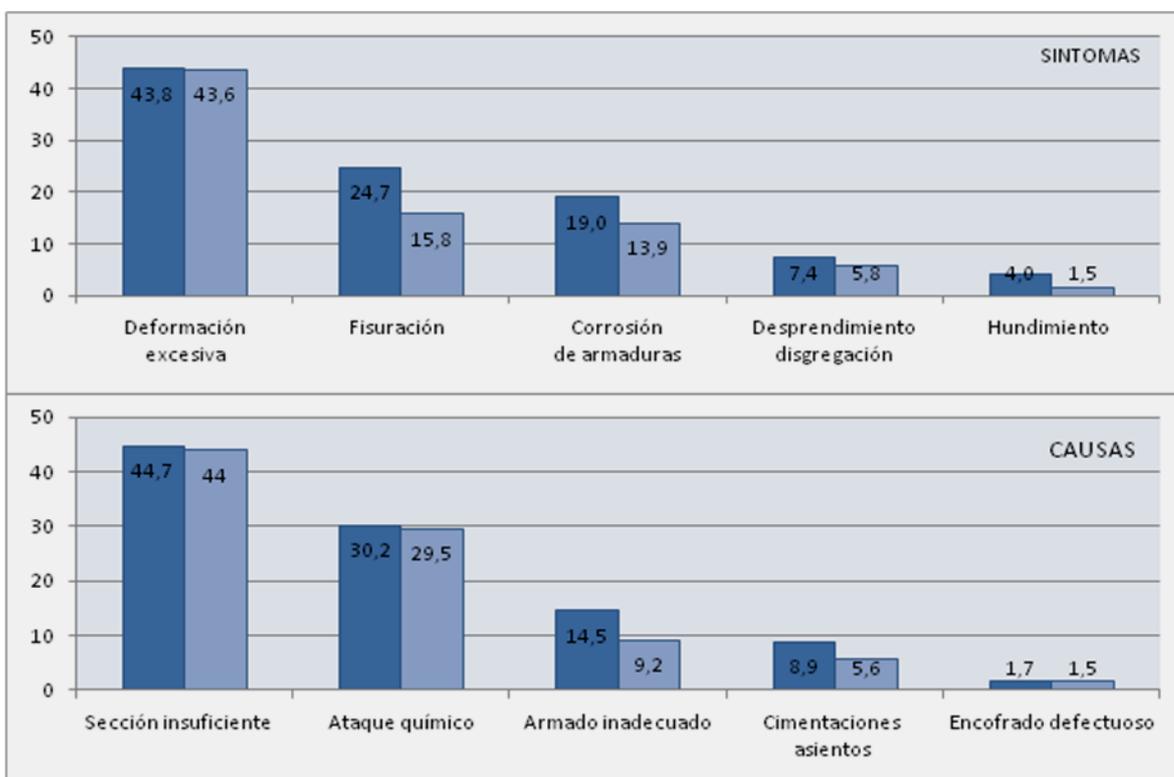
CONCLUSION: en el caso de los elementos flectados y más vulnerables, forjados y vigas, los datos estadísticos en el área gallega son relativamente similares al resto del territorio español.



**COMPARATIVA 5.3.4-** En este caso se confrontan tanto las causas como los síntomas de las lesiones en España/Galicia, con ciertos matices, dado que no todos los campos analizados son comparables directamente.

% campos comparables	ESPAÑA 1963-83 J. Vieitez	GALICIA 1955-92 J. Aragón
<b>SINTOMAS DE LAS LESIONES</b>		
Deformación excesiva	43,8	43,6
Fisuración / grietas	24,7	15,8
Corrosión de armaduras	19,0	13,9
Desprendimiento / disgregación	7,4	5,8
Hundimiento	4,0	1,5
<b>CAUSAS DE LAS LESIONES</b>		
Sección insuficiente o incompatible	44,7	44,0
Ataque químico/baja calidad del hormigón	30,2	29,5
Cuantía o disposición inadecuada de armado	14,5	9,2
Cimentaciones / asiento diferencial	8,9	5,6
Encofrados / hormigonado defectuoso	1,7	1,5

Los valores son prácticamente iguales en el ámbito de los dos problemas fundamentales que han sido comentados a lo largo de este trabajo: la deformación excesiva causada por la sección insuficiente y los daños derivados del ataque químico sobre el hormigón. En el resto de los campos comparables, los porcentajes son relativamente similares, si exceptuamos el caso ya comentado de la cimentación y el de las cuantías inadecuadas.



### 5.3 – COROLARIO FINAL.

Los resultados estadísticos obtenidos a lo largo de esta tesis abren una vía para la reflexión sobre el problema de la patología en la construcción de edificios residenciales en Galicia, ejecutados en hormigón armado.

Las conclusiones teóricas que se infieren no serán del todo sorprendentes para el técnico especialista en materia de estructuras, pero la novedad estriba en haber cuantificado estadísticamente los datos acumulados durante el proceso de Inspección de 746 edificios en el territorio gallego y han servido para verificar diversos aspectos. Básicamente:

- a) La estructura de hormigón armado, considerando las lesiones directas e indirectas, es el subsistema que más problemas genera en la patología del edificio residencial.
- b) De todos los elementos estructurales de hormigón armado el forjado es, sin lugar a dudas, el más vulnerable de todos ellos y, además, su falta de rigidez repercute con frecuencia sobre los elementos constructivos soportados.
- c) Los daños del forjado derivados del diseño incorrecto, de la durabilidad y, sobre todo, del dimensionado insuficiente, engloban el origen principal de casi todos los problemas observados.

Muy relevante ha sido demostrar y cuantificar el fenómeno de que las plantas más afectadas en cuanto a deformaciones y fisuraciones de elementos constructivos soportados han sido las plantas inferiores, primordialmente la planta inmediatamente superior a la planta diáfana. Se confirma así la escasa o nula respuesta constructiva, por parte de todos los técnicos intervinientes, a un problema que debería ser de sobra conocido.

De los resultados de esta investigación también se desprende que los métodos y procesos de cálculo estructural no constituyen, ni mucho menos, un porcentaje relevante en la patología estructural. No obstante, hay que matizar un dato muy significativo: la población edilicia estudiada apenas abarca las actuales estructuras calculadas con el pernicioso ordenador.

En el ámbito del proyecto, resulta necesaria una reflexión sobre uno de los actuales problemas del arquitecto redactor, reconociendo su desfavorable evolución hacia una figura servil en relación con el promotor, con el que constituye una mera relación comercial bajo el restrictivo marco de un proceso selectivo de subasta a la baja entre colegas profesionales. Esta actitud genera en el técnico la pérdida de cierta libertad de exigencia respecto al nivel de calidad en su proyecto, y por tanto, de la obra resultante.

En términos de ejecución, se deja constancia del problema de la baja especialización de una amplia mayoría de empresas constructoras así como la

falta de cualificación de su personal a pié de obra. El único requisito exigido por la administración para el ejercicio de la profesión radica en la preceptiva licencia fiscal. Son numerosos los casos de trabajadores de oficios que han evolucionado a constructores y el número de demandas posteriores al proceso constructivo es un parámetro poco valorado.

Por otro lado, cabe lamentar que la presente investigación no ha sido capaz de extraer conclusiones fundamentadas relativas a la relación entre las lesiones y la evolución de la normativa española debido al período estudiado (1955-1992); éste prácticamente se agota antes de vislumbrar el resultado de la aplicación de la Instrucción EH-88, la cual, tal como se comentó en el capítulo correspondiente, sí introdujo cambios importantes con respecto a la durabilidad y a la limitación de la deformación.

Tampoco ha sido posible cuantificar estadísticamente algunos aspectos trascendentales, como es el caso de la patología diferenciada entre vigas de canto y vigas planas o entre elementos expuestos y elementos protegidos, debido a la propia limitación de la base de datos.

Sí se ha podido cotejar y comprobar que, salvando las distancias y con ciertos matices, los resultados estadísticos extraídos en esta tesis concuerdan en términos generales con otros estudios previos.

Si se debe extraer alguna consecuencia de este trabajo no es otra que el deber de comenzar a transmitir con perseverancia a los técnicos noveles que en la fase del proyecto se debe usar el rigor, la sensatez, el sentido común y el conocimiento adquirido a la par, cuando no por encima, de normativas y, sobre todo, del inadecuado uso de los programas de cálculo por ordenador.

Si un forjado causa daños en los elementos constructivos y no se encuentra en el proyecto todas sus características geométricas, ni su definición resistente ni con qué tipo de hormigón se ha de ejecutar, el fallo se debe atribuir al proyecto y/o a su calculista, pero no al suministrador de los materiales necesarios para su ejecución ni al agente constructor.

La ausencia de sentido común hará, sin lugar a dudas, que se cumpla la Primera Ley de Murphy: *"Si algo puede fallar, sin lugar a dudas fallará"*, y la lesión resultante será del arquitecto o, en su defecto, de quien dictamine el juez.

Y tampoco será culpa de terceros si en el proceso arquitectónico además, por obtener el beneplácito del promotor o por los apurados plazos de entrega, objetivos intrínsecos a su trabajo, se ceden concesiones en pro de la insensatez. Por ejemplo, si se proyecta un canto de forjado escaso, aunque muy económico, o se fuerza la separación entre soportes y se propicia con ello deformabilidades excesivas de los forjados del edificio, con cualquier pretexto arquitectónico, los pavimentos y las tabiquerías de los pisos se acabarán viendo afectados.

Frente a algunos alardes propios de divulgaciones pretenciosamente vanguardistas, tan espectaculares como incoherentes, debe recuperarse el buen diseño estructural, integral y sensato: las luces deben ser acordes al canto empleado, la problemática de las plantas bajas diáfanos debe solventarse desde el proyecto de estructura, la durabilidad del hormigón debe ser un objetivo de la propia sostenibilidad, los apeos deben emplearse como un último recurso, etc.

A mayores de todo lo dicho anteriormente, también es necesario reivindicar el concepto del Mantenimiento. No se puede pretender que ciertas soluciones y materiales asuman la responsabilidad de mantenerse inalterables de por vida y frente a cualquier tipo de contingencia. El usuario del edificio debe asumir la realidad del envejecimiento así como la necesidad de una Inspección Técnica periódica, por mucho que pretenda trasladar la responsabilidad de todos a la de unos pocos.

Tampoco se puede pasar por alto una componente fundamental de la actual, y previsiblemente futura, patología estructural, que observo con inquietud en mi trabajo cotidiano como Asesor del COAG y no es otra que la proliferación del sucedáneo de calculista, favorecido por la irrupción de los programas de cálculo automatizados, por las tendencias del sistema docente en general y de las Escuelas de Arquitectura en particular.

Es absolutamente necesario incidir adecuadamente en las limitaciones informáticas, teniendo en cuenta que un programa de cálculo es sólo una herramienta útil, con mucha memoria pero con nulo razonamiento, dispuesto a admitir aquellos datos, correctos o no, que el usuario le haga llegar. Hay que transmitir al alumno la necesidad de responsabilizarse con el rigor de la verificación manual en el análisis de esfuerzos, la revisión de armados, el predimensionado de secciones, la adaptación a un proceso constructivo, etc. En este encuadre, un resultado negligente tampoco será culpa de Murphy, sino del técnico que utiliza inadecuadamente el programa.

Y para finalizar, a aquellos que hayan completado la lectura de esta tesis, de una forma más o menos continuada y atenta, mi más sincero agradecimiento.

Coruña, Septiembre de 2010.

## 6.- BIBLIOGRAFIA.

### 6.1 - Reseñas bibliográficas.

**(1) American Railway Engineering Association**

Obra: Manual of Recommended Practices  
Fuente: AREA magazin Lanham – Maryland, 1918.

**(2) Reygaerts, J.**

Obra: Comment éviter les dégats de Brussels  
Fuente: Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC), 1978.

**(3) Eldridge, H.L.**

Obra: Defectos comunes en la construcción.  
Fuente: Gustavo Gili - Barcelona, 1982.

**(4) Ruano, J.**

Obra: Metodología científica del análisis comparativo  
Fuente: ICTA, 1997

**(5) Leonardo Grilo & J. L. Calmon**

Obra: Falhas externas em edificações multifamiliares segundo os usuários  
Fuente: Encontro nacional da tecnologia do construido - Salvador, 2000.

**(6) G.R. Antonelli & H. Carasek**

Obra: Importancia na prevencao de manifestacoes patologicas  
Fuente: Congreso de patología - Mérida, México, 2003.

**(7) Leren A.B.**

Obra: Analysen typischer bauschadem aus der praxis  
Fuente: Fraunhofer IRB - Bonn, Deutschland, 1981.

**(8) Freemann, Ian.**

Obra: Building theories from Case study Research  
Fuente: N° 15 de Building Research Information magazine, 1987.

**(9) Logeais, M.L.**

Obra: La patolhologie du batiment: philisophie, tendances et évolution.  
Fuente: CSTB magazine nº11, 1988.

**(10) Blevot, Jean.**

Obra: Pathologie des constructions en beton armé

Fuente: Institut Technique du Batiment et Travaux Publics – París, 1974

**(11) Dufour, J - Bureau Securitas**

Obra: Etude statistique de 10.000 dossiers de sinistres.

Fuente: Annales n°378 y 426: Inst. Tec. du batiment et Travaux publics, 1979.

**(12) Vieitez Chamosa, J.A.**

Obra: Patología Estructural: aspectos químicos, normativa y estadística.

Fuente: Tesis Doctoral – Esc. Sup. de Ing. Industriales de Bilbao (UPV), 1984.

**(13) Grupo Español de hormigón (GEHO).**

Obra: Encuesta sobre patología de estructuras de hormigón.

Fuente: Grupo Español de hormigón - Comisión GT IV - Boletín n°10, 1992.

**(14) Escribano Villán, Joseba.**

Obra: Siniestralidad arquitectónica: casuística, sintomatología y resultados.

Fuente: Colegio Oficial de Arquitectos Vasco Navarro, 1993.

**(15) Lamas López, Valentín.**

Obra: Valoración del Proyecto Estructural de Edificación en Galicia

Fuente: Tesis Doctoral – ETSA Coruña, 2001.

**(16) Conseil International du Batiment - CIB**

Obra: Building Pathology; a state of the art report.

Fuente: Final Draft. CIB report, 1992.

**(17) Bentz, D.P. & Garboczi, E.J**

Obra: Computer Modelling of the Interfacial Transition Zone in Concrete

Fuente: J.C. Maso – London. Pp. 259-268. 1993.

**(18) Rabot & Dutruel, F.**

Obra: Binders for durable and sustainable concrete.

Fuente: Centre d'Etudes et Recherche de Industrie du Betón (ERIB), 1974.

**(19) Zega C.J., Taus V.L. & Di Maio A.**

Obra: Effect of entrained air on concrete properties and Aggregates.

Fuente: Revista IMME, 2006.

**(20) Vázquez Suñe, Enric.**

Obra: Manual de diagnóstico e intervención en las estructuras de hormigón armado – CAP.5: La corrosión de las armaduras de acero.

Fuente: COAAT de Barcelona, 2000.

**(21) Vázquez Suñe, Enric.**

Obra: Manual de diagnóstico e intervención en las estructuras de hormigón armado – CAP. 4: Alteraciones de tipo químico en el hormigón armado

Fuente: COAAT de Barcelona, 2000.

**(22) Pourbaix, M.**

Obra: Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solution

Fuente: Journal of Chemical Education, nº46, 1969.

**(23) Pazini, E. & Helene, P.**

Obra: Corrosión en estructuras de concreto armado. Teoría, inspección, diagnóstico, vida útil y reparaciones.

Fuente: Ed. P. Castro. IMCYT; México D.F., 1998.

**(24) Jiménez Montoya, P. García Messeguer, A. & Morán Cabré, F.**

Obra: Hormigón armado.

Fuente: Editorial Gustavo Gili. Barcelona 2000.

**(25) Díaz Gómez, Cesar.**

Obra: Manual de diagnosis e intervención en estructuras de hormigón.

Fuente: Servicio de publicaciones del COAAT de Barcelona, 2000.

**(26) Ytterbeg, R.F..**

Obra: Shrinkage and curling of slabs on grade.

Fuente: ACI Concrete International, 1987.

**(27) Muñiz Gómez, Santiago.**

Obra: Revisión del catálogo sísmico gallego.

Fuente: Tesis Doctoral, 2001.

## 6.2- Bibliografía general por autores.

### 1.- American Concrete Institute - ACI.

Obra: Guide to durable concrete  
Fuente: Report Committee 201, 1982.

### 2.- American Concrete Institute - ACI.

Obra: Prácticas estándar para el curado del hormigón  
Fuente: Report Committee 308, 2003.

### 3.- Andrade Perdrix, Carmen

Obra: La carbonatación y la corrosión de armaduras  
Fuente: Instituto de Ciencias de la Construcción de Eduardo Torroja, 1987.

### 4.- Calavera Ruiz, José.

Obra: Prólogo de las Normas Americanas para la utilización del hormigón.  
Fuente: Instituto Técnico de Materiales y Construcción – INTEMAC, 1990.

### 5.- Calavera Ruiz, José.

Obra: Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado – Cap II.  
Fuente: Instituto Técnico de Materiales y Construcción – INTEMAC. 1996

### 6.- Calavera Ruiz, José.

Obra: Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón armado, en masa y pretensado.  
Fuente: Instituto Técnico de Materiales y Construcción – INTEMAC. 2008

### 7.- Chanter, Barrie.

Obra: Building maintenance management.  
Fuente: Blackwell, 2007.

### 8.- Comité Eurointernational du Béton - CEB.

Obra: Durability of concrete structures .  
Fuente: CEB Bulletin nº 152, 1983.

### 9.- Comité Eurointernational du Béton - CEB.

Obra: Assens concrete structures and design procedures for up-grading .  
Fuente: CEB Bulletin nº 162, 1983.

### 10.- Comité Eurointernational du Béton - CEB.

Obra: Durable Concrete Structures. Design Guide.  
Fuente: CEB Bulletin nº 183, 1992.

### 11.- Danuso, Arturo

Obra: Intuición y Ciencia en la historia del hormigón armado.  
Fuente: Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento, 1955.

**12.- Douglas, James**

Obra: Building adaptation

Fuente: butterworth-heinemann, 2006.

**13.- Díaz Gómez, Cesar.**

Obra: Manual de diagnosis e intervención en estructuras de hormigón.

Fuente: Servicio de publicaciones del COAAT de Barcelona, 2000.

**14.- Broto i Comerma, Carles**

Obra: Enciclopedia Broto de Patología

Fuente: Links Barcelona SA, 2006.

**15.- Fernández Cánovas, Manuel.**

Obra: Patología y Terapéutica del hormigón Armado.

Fuente: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1994.

**16.- Fernández Cánovas, Manuel.**

Obra: Durabilidad en estructuras de hormigón armado.

Fuente: Conferencia Inaugural XIV Jornadas Chilenas del Hormigón, 2003.

**17.- García Valcarce, J.A. - Sacristán Fdez, P.- González, R.J.- Hernández, R. - Pascual, A. - Sánchez-Ostiz y D. Irigoyen**

Obra: Estadística de ASEMAS - Manual de Edificación.

Fuente: CIE DOSSAT, 2000.

**18.- Grupo Español de hormigón (GEHO).**

Obra: Durabilidad de las Estructuras de Hormigón. Guía de diseño CEB.

Fuente: Grupo Español de hormigón - Comisión GT IV - Boletín nº12. 1993.

**19.- Grupo Español de hormigón (GEHO).**

Obra: Comentarios a las modificaciones de EH-91: calidad del hormigón.

Fuente: Grupo Español de hormigón - Comisión GT IV - Boletín nº15. 1994.

**20.- Harris Samuel, Y.**

Obra: Building pathology: deterioration, diagnostic, and intervention.

Fuente: John wiley & Sons, Ltd.(2ª), 2001.

**21.- Instituto Galego da Estadística. (IGE)**

Obra: Estadística de edificación e vivienda 1999.

Fuente: Xunta de Galicia, Consellería de Economía e Facenda, 1999.

**22.- Jiménez Montoya, P. García Messeguer, A. & Morán Cabré, F.**

Obra: Hormigón armado.

Fuente: Editorial Gustavo Gili. Barcelona 2000.

**23.- Leonhardt, F.**

Obra: Estructuras de hormigón armado

Fuente: Ed. El Ateneo. Buenos Aires. 1984.

**24.- López Palanco, Rafael.**

Obra: Arquitectos, ingenieros y otras causas de catástrofes  
Fuente: Monumentos contra Catástrofes – Aula Hernán Ruíz, 1995.

**25.- Lyall Addleson.**

Obra: Guide to building failures.  
Autor: Fuente: Manuales AJ - Herman Blume, 1986.

**26.- MacDonald, Susan**

Obra: Concrete: building pathology.  
Fuente: Blackwell, 2002.

**27.- Merchán Gabaldón, Faustino.**

Obra: Manual para la inspección técnica de edificios (ITE).  
Fuente: CIE Inversiones Editoriales – DOSSAT, 2000.

**28.- Muñoz Hidalgo, Manuel.**

Obra: Diagnóstico y causas en patología de edificación.  
Fuente: Editado por el autor- Sevilla, 1994.

**29.- Orbasli, Aylin.**

Obra: Architectural conservation: principles and practise.  
Fuente: Blackwell, 2007.

**30.- Orfelio G. León e Ignacio Montero I.**

Obra: Diseño de investigaciones: estadísticas.  
Fuente: Facultad de Psicología (UAM) - Ed. McGraw Hill. 1997.

**31.- Pazini E., Castro P. y Helene P.**

Obra: Corrosión en estructuras de concreto armado: teoría, inspección, diagnóstico, vida útil y reparaciones.  
Fuente: Ediciones P. Castro IMCYT (México D.F.) 1998.

**32.- Powers, C.**

Obra: Builder's guide to cosmetic remodeling.  
Fuente: McGraw-Hill, 1997.

**33.- Regalado Tesoro, Florentino.**

Obra: Los forjados reticulares.  
Fuente: Ediciones Cype Ingenieros, 1991.

**34.- Rodríguez Martín, Luis Felipe**

Obra: Forjados: la carbonatación del hormigón  
Fuente: Fundación Escuela de la Edificación – UNED, 2005.

**35.- Rosell, Joan Ramón yVázquez, Enric**

Obra: Manual de diagnóstico e intervención en las estructuras de hormigón  
Cap IV : alteraciones de tipo químico en el hormigón armado  
Fuente: COAAT de Barcelona, 1998.

**36.- Rosell y Colomina, Jaime**

Obra: Manual de diagnóstico e intervención en las estructuras de hormigón  
Cap I : los inicios del hormigón armado  
Fuente: COAAT de Barcelona, 2000.

**37.- Sanglerat, Guy.**

Obra: Pathologie des constructions en beton armé  
Fuente: Edit Eyrolles, 1975.

**38.- Sanglerat, Guy.**

Obra: Analyse des statistiques de l'assurance-contrôle  
Fuente: Bulletin 122 Information pour la Sécurité de la Construction, 1977.

**39.- Sanglerat, Guy.**

Obra: Contribution a la 21 session pleniére du CEB, Budapest.  
Fuente: Bulletin 138 Information pour la Sécurité de la Construction, 1980.

**40.- Sirvent Casanova, Ismael.**

Obra: El lenguaje de las fisuras.  
Fuente: Instituto Técnico de la Construcción – ITC, 1997.

**41.- Sirvent Casanova, Ismael.**

Obra: Tecnología y terapéutica del hormigón armado.  
Fuente: Instituto Técnico de la Construcción – ITC, 1999.

**42.- Vázquez, Enric**

Obra: Manual de diagnóstico e intervención en las estructuras de hormigón  
Cap V : La corrosión de las armaduras de acero,  
Fuente: COAAT de Barcelona, 2000.

**43.- Watt, David**

Obra: Building pathology: principles and practice.  
Fuente: Blackwell, 2007.

**44.- Yteerbeg, Robert.**

Obra: Retracción y curvado de losas de hormigón armado.  
Fuente: American Concrete Institute - ACI. 1987.

### 6.3- Bibliografía general por títulos.

- 1.- TITULO: **Building pathology. Principles and practice.**  
Autor: Watt, David.  
Fuente: Blackwell Science Ltd. London  
Año: 1999.
- 2.- TITULO: **Building pathology, deterioration, diagnostics and intervention.**  
Autor: Harris, Yerry.  
Fuente: John Wiley & Sons, Inc.  
Año: 2001.
- 3.- TITULO: **Cálculo, construcción, patología y rehabilitación.**  
Autor: Calavera Ruiz, José.  
Fuente: INTEMAC.  
Año: 2005.
- 4.- TITULO: **Como evitar errores en proyectos y obras. 100 casos prácticos**  
Autor: Manuel Muñoz Hidalgo.  
Fuente: Editorial del autor.  
Año: 2009
- 5.- TITULO: **Curso de patología, conservación y restauración de edificios.**  
Autor: Juan Monjo Carrió y otros.  
Fuente: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.  
Año: 1991.
- 6.- TITULO: **Curso superior en Inspección Técnica de Edificios.**  
Autor: Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia – UDC.  
Fuente: Comisión de Asuntos Tecnológicos - CAT.  
Año: 2003/04.
- 7.- TITULO: **Diagnosis y causas en patología de la edificación.**  
Autor: Manuel Muñoz Hidalgo.  
Fuente: Editorial del autor.  
Año: 1994.
- 8.- TITULO: **Estructuras de edificación en hormigón armado.**  
Autor: Pérez Valcárcel, Estévez Cimadevila, Martín Gutierrez y otros.  
Fuente: Departamento de estructuras de la ETSA de La Coruña.  
Año: 1993
- 9.- TITULO: **Fichas para la prevención de patología en forjados de hormigón.**  
Autor: Jorge Aragón Fitera.  
Fuente: Comisión de Asuntos Tecnológicos - COAG.  
Año: 2000.

- 10.- TITULO: Forjados.**  
Autor: Luis Felipe Rodríguez Martín.  
Fuente: Fundación Escuela de la Edificación - UNED  
Año: 2005
- 11.- TITULO: Inspección técnica, diagnóstico y reparación de forjados de hormigón armado.**  
Autor: Jorge Aragón Fitera.  
Fuente: Comisión de Asuntos Tecnológicos - COAG.  
Año: 2004
- 12.- TITULO: Manual de inspección técnica de edificios.**  
Autor: Monjo Carrió, Juan y Maldonado, Luis.  
Fuente: Editorial Munilla Lería  
Año: 2002.
- 13.- TITULO: Normativa internacional.**  
Autor: Juan López Jaen.  
Fuente: Servicio de publicaciones del COAM.  
Año: 1987
- 14.- TITULO: Patología de la construcción.**  
Autor: Antonio García Valcarce.  
Fuente: Publicaciones de la ETSA de Sevilla.  
Año: 2009
- 15.- TITULO: Patología de la edificación. El lenguaje de las grietas.**  
Autor: Francisco Serrano Alcudia.  
Fuente: Universidad Nacional de Educación a Distancia.  
Año: 2005
- 16.- TITULO: Prevención y soluciones en patología de la edificación.**  
Autor: Manuel Muñoz Hidalgo.  
Fuente: Editorial del autor.  
Año: 1991.
- 17.- TITULO: Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales.**  
Autor: Juan Monjo Carrió y otros.  
Fuente: Departamento de construcción y tecnología de la UPM.  
Año: 1998.

#### 6.4- Normativa referenciada.

- 1.- Instrucción para la fabricación y suministro de hormigón: EHPRE-72.
- 2.- Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de hormigón pretensado: EP-77.
- 3.- Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado: EP-80.
- 4.- Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado: EH-80.
- 5.- Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado: EH-82.
- 6.- Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado: EF-88.
- 7.- Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado: EH-88.
- 8.- Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado: EH-91.
- 9.- Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado: EF-96.
- 10.- Instrucción de Hormigón Estructural: EHE-98.