

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

Escala de gravedad de daños en edificios: de la asignación directa a la contrastación estadística

tesis doctoral realizada por:

Félix Ruiz Gorrindo

dirigida por:

Antonio Aguado de Cea

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Carles Serrat i Piè

Dr. en Matemáticas

Barcelona, noviembre de 2014



Universitat Politècnica de Catalunya
E.T.S. d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
Departament d'Enginyeria de la Construcció

Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre

Sir William Thomson, Baron Kelvin of Largs

La verdadera grandeza de la ciencia acaba valorándose por su utilidad

Gregorio Marañón

Persevera per severa per se vera
(persevera ante las dificultades que son en si la única verdad)

Cita latina

A mi familia

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mis directores de tesis, el Dr. Antonio Aguado y el Dr. Carles Serrat, por su gran calidad humana y por la gran sabiduría, rigor científico y paciencia con la que han dirigido este trabajo de investigación. Para mí ha sido un privilegio y muy enriquecedor realizar esta tesis doctoral con ellos.

Agradecer también a Cristina Cerrajero, Albert Masarico, Elena Pérez, Isaac Sorigué y Maria Vendrell, arquitectos técnicos y masters en Edificación, que con sus Trabajos Final de Master (TFM) de los que el doctorando ha sido director junto con el Dr. Carles Serrat, han desarrollado herramientas que han sido útiles en el marco de este trabajo de investigación. Su grado de dedicación, ilusión y competencia en el desarrollo de sus TFM ha sido muy alto. Mi gratitud igualmente a Xavier Montilla, arquitecto técnico e ingeniero de obras públicas, por su amable colaboración en uno de los anexos.

También quiero agradecer a Vicente Alegre, Xavier Casanovas, Dr. César Díaz y Vicenç Gibert, por participar en uno de los ensayos de la tesis, consistente en valorar el parámetro probabilidad de desprendimiento de diversas imágenes de fachadas que se mostraban. En la misma línea agradecer a los 374 técnicos que han participado en otro de los ensayos de la tesis, consistente en valorar el grado de gravedad de diversas imágenes de elementos constructivos de edificios que se mostraban.

Agradezco igualmente a las personas de las diferentes administraciones públicas, que amablemente me han facilitado información sobre el funcionamiento de diferentes normas ITE (Inspección Técnica de Edificios) en vigor en España. Así mismo quiero agradecer a todas las personas de las administraciones públicas con las que he tenido el gusto de trabajar y colaborar durante estos últimos 22 años, en materia de edificios privados en mal estado, así como en otros ámbitos. Ha sido y es una gran experiencia trabajar y colaborar con estas personas.

También agradezco al Dr. Joan Ramon Casas por facilitarme información de interés para diferentes partes de la tesis, por su permanente amabilidad, cordialidad y por los ánimos dados, así como a todas las personas, empresas y entidades que también me han facilitado información útil para la tesis. Igualmente agradezco al personal de administración del Departament d'Enginyeria de la Construcció de la ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona por su apoyo y amabilidad en todo momento.

Igualmente mi gratitud al Institut d'Estadística i Matemàtica Aplicada a l'Edificació (IEMAE), de la EPS de Edificación de Barcelona (Ingeniería de Edificación), por su apoyo en todo momento y contagioso ánimo e ilusión. En especial deseo agradecer a Laura Moreno, ingeniera de edificación, por su colaboración en la fase final de la tesis.

Gracias a mi familia por su infinita paciencia y comprensión, pues son quienes han padecido mis ausencias durante estos seis años de tesis doctoral, en buena parte de los fines de semana, vacaciones, tardes después del trabajo, etc.

Para finalizar, gracias a los que me permiten compartir el sentimiento de amistad, por ayudarme a comprender en los momentos de penumbra “que siempre hay mil soles en el reverso de las nubes”. Muchas gracias.

RESUMEN

Con cierta frecuencia se puede ver en los medios de comunicación casos de colapsos de edificios que se van produciendo en España, en ocasiones con víctimas, como por ejemplo el caso del siniestro en Palma de Mallorca el 26 de octubre de 2009, en el que se hundió un edificio de cincuenta años de edad, pereciendo siete personas. Realizando un estudio de este tema, se comprueba que este no es un caso aislado, y el número de colapsos de edificios que se producen cada año en nuestro país es apreciable. Aparte de los hundimientos, existe un elevado número de edificios que sin haber colapsado, presentan severas lesiones estructurales que requieren pronta intervención. Es importante resaltar que, buena parte de estos casos de colapsos y de lesiones graves, se podrían haber evitado en gran medida, realizando **inspecciones periódicas**, y el consecuente **mantenimiento** asociado. Además está demostrado que, con un adecuado mantenimiento del edificio y realizando revisiones periódicas, **se ahorra dinero** a medio plazo, ya que se evita que aparezcan lesiones graves, mucho más costosas de reparar. Para realizar las inspecciones periódicas de los edificios es de gran utilidad el **poder cuantificar hasta qué punto las deficiencias existentes son graves o no**, con objeto de facilitar la toma de decisiones y priorizar las intervenciones terapéuticas.

Para dar respuesta a esta problemática el objetivo principal de la tesis es proponer una **escala de gravedad de daños en edificios** y la posterior validación de la misma. A esta escala se le exige una baja variabilidad entre los técnicos que la utilizan, con objeto que las valoraciones, conclusiones y priorizaciones sean homogéneas de forma independiente del técnico que intervenga en la inspección del edificio.

Para desarrollar el objetivo propuesto, en primer lugar se estudian escalas existentes de ámbito general (Boufort, Douglas, Richter, Mohs, EVA, etc.) y en el ámbito de construcción. Con posterioridad se definen las características de la escala propuesta y su forma de aplicación en base al método de asignación directa, para valorar la gravedad de elementos constructivos en edificios. A continuación se propone un método ponderado de cálculo, basado en la distribución estadística de la gravedad de los daños existentes, para determinar el grado de gravedad total del edificio. Finalmente, la escala y la metodología propuesta se han aplicado a un caso real de edificio, verificando que los métodos utilizados dan resultados coherentes.

Para realizar la **validación de la escala propuesta** y analizar su aplicabilidad se realiza una serie de ensayos en los que se muestran 33 imágenes de elementos constructivos a una población de 374 técnicos, para que les asignen un grado de gravedad a cada imagen según las definiciones genéricas de la escala propuesta, con objeto de analizar, entre otros aspectos, si entre los técnicos hay alta o baja variabilidad. Con los datos recogidos se realiza un análisis estadístico, donde se analizan y relacionan diversos aspectos y se utilizan técnicas matemáticas, tales como estadística descriptiva (medias aritméticas, desviaciones tipo, densidades, frecuencias, histogramas, etc.), regresión logística binaria y clustering. En particular, las técnicas de clustering permiten determinar cuál es el número adecuado de grados

que debe tener la escala para que el funcionamiento de la misma sea óptimo y el grado de variabilidad entre técnicos aceptable.

Con objeto de reducir el grado de variabilidad entre técnicos que se produce por el método de asignación directa se propone además una metodología alternativa para el caso específico de fachadas que denominamos **Sistema de Evaluación de Fachadas (SEF)**. En la parte numérica de dicho método, una vez obtenidos los diferentes datos de la fachada a partir de su representación gráfica, se determina el valor de dos indicadores que se proponen y que son medibles mediante variables. Sobre estos indicadores se realizan una serie de cálculos en base a unas expresiones matemáticas y métodos que se proponen y justifican, que permiten determinar el grado de gravedad de cada zona de la fachada. Para la obtención de algunas de las expresiones matemáticas se incluyen diversos ensayos, como el realizar encuesta a 5 expertos en materia de diagnóstico de patología de la construcción, con objeto que valoren el indicador probabilidad de desprendimiento en 197 imágenes de zonas concretas de fachadas.

Las conclusiones y propuestas de esta tesis tienen repercusión sobre el conjunto del parque edificado, dado que el alcance de la misma es todo tipo de edificio, independientemente de aspectos como: titularidad (privada o pública), uso (viviendas, sanitario, escolar, deportivo, etc.), o localización geográfica.

RESUM

Amb certa freqüència es pot veure en els mitjans de comunicació casos de col·lapses d'edificis que es van produint a Espanya, en ocasions amb víctimes, com el cas del sinistre a Palma de Mallorca el 26 d'octubre de 2009, en el qual es va enfonsar un edifici de cinquanta anys d'edat, morint set persones. Realitzant un estudi d'aquest tema, es comprova que aquest no és un cas aïllat, i el nombre de col·lapses d'edificis que es produeixen cada any al nostre país és apreciable. A part dels enfonsaments, hi ha un elevat nombre d'edificis que sense haver col·lapsat, presenten severes lesions estructurals que requereixen ràpida intervenció. És important ressaltar que, bona part d'aquests casos de col·lapses i de lesions greus, es podrien haver evitat, en gran mesura, realitzant **inspeccions periòdiques**, i el conseqüent **manteniment** associat. A més està demostrat que, amb un adequat manteniment de l'edifici i realitzant revisions periòdiques, **s'estalvien diners** a mig termini, ja que s'evita que apareguin lesions greus, molt més costoses de reparar. Per realitzar les inspeccions periòdiques dels edificis és de gran utilitat el **poder quantificar fins a quin punt les deficiències existents són greus o no**, a fi de facilitar la presa de decisions i prioritzar les intervencions terapèutiques.

Per tal de donar resposta a aquesta problemàtica, l'objectiu principal de la tesi és proposar una **escala de gravetat de danys en edificis** i la posterior validació de la mateixa. A aquesta escala se l'exigeix una baixa variabilitat entre els tècnics que la utilitzen, a fi que les valoracions, conclusions i prioritzacions siguin homogènies de forma independent del tècnic que intervingui en la inspecció de l'edifici.

Per desenvolupar l'objectiu proposat, en primer lloc s'estudien escales existents d'àmbit general (Boufort, Douglas, Richter, Mohs, EVA, etc.) i en l'àmbit de construcció. Amb posterioritat es defineixen les característiques de l'escala proposada i la seva forma d'aplicació en base al mètode d'assignació directa, per valorar la gravetat d'elements constructius en edificis. A continuació es proposa un mètode ponderat de càlcul, basat en la distribució estadística de la gravetat dels danys existents, per determinar el grau de gravetat total de l'edifici. Finalment, l'escala i la metodologia proposada s'han aplicat a un cas real d'edifici, verificant que els mètodes utilitzats donen resultats coherents.

Per a realitzar la **validació de l'escala proposada** i analitzar la seva aplicabilitat es realitzen una sèrie d'assajos en els quals es mostren 33 imatges d'elements constructius a una població de 374 tècnics, perquè els assignin un grau de gravetat a cada imatge segons les definicions genèriques de l'escala proposada, a fi d'analitzar, entre altres aspectes, si entre els tècnics hi ha alta o baixa variabilitat. Amb les dades recollides es realitza una anàlisi estadística, on s'analitzen i relacionen diversos aspectes i s'utilitzen tècniques matemàtiques, com ara estadística descriptiva (mitjanes aritmètiques, desviacions tipus, densitats, freqüències, histogrames, etc.), regressió logística binària i clustering. En particular, les tècniques de clustering permeten determinar quin és el nombre adequat de graus que ha de tenir l'escala perquè el funcionament de la mateixa sigui òptim i el grau de variabilitat entre tècnics acceptable.

A fi de reduir el grau de variabilitat entre tècnics que es produeix pel mètode d'assignació directa es proposa a més una metodologia alternativa per al cas específic de façanes que anomenem **Sistema d'Avaluació de Façanes (SEF)**. A la part numèrica d'aquest mètode, un cop obtingudes les diferents dades de la façana a partir de la seva representació gràfica, es determina el valor de dos indicadors que es proposen i que són mesurables mitjançant variables. Sobre aquests indicadors es realitzen una sèrie de càlculs en base a unes expressions matemàtiques i mètodes que es proposen i justifiquen, que permeten determinar el grau de gravetat de cada zona de la façana. Per a l'obtenció d'algunes de les expressions matemàtiques s'inclouen diversos assajos, com el realitzar enquesta a 5 experts en matèria de diagnosi de patologia de la construcció, a fi que valorin l'indicador probabilitat de despreniment en 197 imatges de zones concretes de façanes.

Les conclusions i propostes d'aquesta tesi tenen repercussió sobre el conjunt del parc edificat, atès que l'abast de la mateixa és tot tipus d'edifici, independentment d'aspectes com: titularitat (privada o pública), ús (habitatges, sanitari, escolar, esportiu, etc.), o localització geogràfica.

ABSTRACT

Quite often we can see in the media cases of building collapses that occur in Spain, sometimes with victims, such as the case of the incident in Palma de Mallorca on 26 October 2009, in which a building fifty years old collapsed, and seven people died. Conducting a study on this issue, it is found that this is not an isolated case, and the number of building collapses that occur each year in our country is appreciable. Apart from the collapse, there is a large number of buildings which without having collapsed they exhibit severe structural lesions that require prompt intervention. It is important to highlight that, many of these cases of collapses and serious injuries could have been largely avoided by performing **periodic inspections** of buildings, and consequently performing proper **maintenance** thereof. Furthermore it is demonstrated that with proper maintenance of the building and making periodic reviews, **money is saved** in the medium term as it prevents appear serious injuries, much more expensive to be repaired. To make periodic inspections of buildings is useful **be able to quantify how far the existing deficiencies are serious or not**, in order to facilitate the decision making and prioritize therapeutic interventions.

In order to respond to this problematic, the main objective of the thesis is to propose a **gravity scale of damages in buildings** and the subsequent validation. To this scale is required that there is low variability among technicians who use it, in order that assessments, conclusions and prioritizations are homogeneous regardless of the technician involved in the inspection of the building.

To develop the proposed goal in the first place we study existing scales of general scope (Boufort, Douglas, Richter, Mohs, EVA, etc.) and in the field of construction. Subsequently we define the characteristics of the proposed scale and the way of application based on the direct assignment method, for assessing the gravity of constructive elements in buildings. Then is proposed a weighted calculation method based on the statistical distribution of the severity of existing damage, to determine the total degree of severity of the building. Finally, the scale and the proposed methodology have been applied to a real case of building, verifying that the used methods give consistent results.

To **validate the proposed scale** and analyze its applicability a series of essays in which 33 images of building a population of 374 technical elements is performed, to allocate them a degree of gravity for each image according to generic definitions of the proposed scale, in order to analyze, among other things, if there is high or low variability among technicians. With the data collected is made statistical analysis, where different aspects are analyzed and relate, and mathematical techniques are used, such as descriptive statistics (arithmetic means, standard deviations, densities, frequencies, histograms, etc.), binary logistic regression and clustering. In particular, the techniques of clustering allow to determine what is the appropriate number of degrees to should have the scale to the operation thereof is optimal and the degree of variability among technicians is acceptable.

In order to reduce the degree of variability between technicians produced by the direct assignment method is further proposed an alternative methodology for the specific case of façades that we call **System of Evaluation of Façades (SEF)**. In the numerical part of this method, once obtained the different data of the façade from its graphical representation, the value of two proposed indicators that are measurable through variables is determined. On these indicators a series of calculations are made based on some mathematical expressions and methods that are proposed and justified, for determining the degree of severity of each zone of the façade with. To obtain some of the mathematical expressions some essays are made, as the survey to 5 experts in the issue of diagnosis of pathology of construction, in order to assess the indicator of probability of detachment in 197 images of specific zones of façades.

The conclusions and proposals of this thesis have implications on the whole built park, since the scope of it is all kinds of building, regardless of aspects such as ownership (private or public), use (housing, sanitary, school, sports , etc.), or geographic location.

PRÓLOGO

Se ha considerado oportuno realizar un breve apartado de prólogo, con objeto de explicar qué razones personales han movido al doctorando para proponer una tesis precisamente sobre este tema. Y es que en uno de los principales campos profesionales donde ha intervenido el doctorando durante 19 años (desde el año 1993 al año 2011), ha sido en patología de la construcción, principalmente desde la administración pública, tanto en la fase de diagnóstico como en la fase de terapéutica, así como en trato y asesoramiento de ciudadanos en materia de edificios privados en mal estado. Así el doctorando ha realizado en dicho periodo 2.250 inspecciones y 1.480 dictámenes sobre diagnóstico de patología, la inmensa mayor parte de ellos respecto edificios privados, y atendiendo personalmente 8.680 consultas de ciudadanos sobre la referida temática, y otras muchas más, unas 10.000, atendidas por teléfono.

Un aspecto remarcable es que el doctorando ha intervenido en abundantes casos de extrema gravedad (colapsos de edificios, desalojos), así como otros muchos casos de lesiones graves. Los 56 casos de extrema gravedad en los que el doctorando ha intervenido¹, tenían causas variadas y patologías² muy dispares, desde lesiones de aplastamiento en paredes medianeras de tapia, intensos ataques de termita, pudrición parda u otros agentes bióticos en estructuras de madera, carbonatación del hormigón y corrosión de armaduras, y un largo etcétera. Pero todas estas variadas patologías siempre tenían una causa primigenia, originaria, común, que era la falta de mantenimiento y la falta de revisiones periódicas. O dicho de otra manera más gráfica, si en estos 56 edificios se hubiera realizado un adecuado mantenimiento con revisiones periódicas, no se hubiera producido ninguna de estas emergencias.

Es importante resaltar que de los referidos 24 casos de colapsos de edificios, algunos de estos edificios estaban abandonados y no vivía nadie, pero la mayor parte de ellos sí se utilizaban como vivienda. Afortunadamente no se produjo ninguna víctima mortal, sólo algún herido leve, pero el doctorando ha conocido numerosas personas (más de 40) que salvaron la vida milagrosamente, en el último momento, o por una suma de casualidades muy afortunadas.

Este tipo de intervenciones de extrema gravedad tienen una parte positiva para el técnico que interviene, y es que suelen ser altamente interesantes desde un punto de vista científico y técnico, y amplían la base de conocimientos. Igualmente la experiencia vivencial adquirida en estas intervenciones también es positiva, produciendo el efecto que este tipo de experiencias permite afrontar los nuevos casos

¹ En estos 56 casos sólo se incluyen los de colapsos de edificios (24) y los casos en que el doctorando ha hecho desalojar edificios debido a que padecían lesiones de extrema gravedad (32), y no se incluyen los otros muchos casos de lesiones graves en que ha intervenido y no ha considerado necesario desalojar el edificio.

² La palabra patología significa “estudio de la enfermedad”, y se origina del griego, específicamente de las raíces etimológicas *pathos*, que significa “enfermedad” y *logía*, que significa “estudio” o “tratado”. En esta tesis, igual que ocurre en abundante bibliografía, se utilizará la palabra patología también de forma más genérica, como sinónimo de disfunción.

de extrema gravedad en los que haya que intervenir con más tranquilidad, confianza y solvencia.

Pero aparte de estos aspectos ciertamente positivos para el técnico, existen otras connotaciones no tan agradables, una de las cuales es la elevada responsabilidad que contrae en este tipo de intervenciones. La otra, especialmente si el técnico pertenece a la administración pública y debe colaborar en la gestión del desalojo de los usuarios del edificio y tratarlos con cierta frecuencia, es que son intervenciones duras y conflictivas para el técnico. No hay que perder de vista aspectos sociológicos y psicológicos como el hecho que, en general, las personas desalojadas de un edificio por riesgo de hundimiento, especialmente si estas personas no tienen otro lugar donde ir, que es lo habitual, suelen sufrir intensamente. En estos casos, un competente trabajo integral del técnico municipal, junto con Servicios Sociales y Policía Local entre otros departamentos, puede ayudar a mitigar parcialmente el importante padecimiento psicológico de estas personas.

Así pues, todo lo expuesto hasta ahora ha ido inculcando en el doctorando a lo largo de estos años un fuerte sentimiento sobre la trascendental importancia de realizar mantenimiento adecuado y revisiones periódicas de los edificios, en las que se valorare adecuadamente el grado de gravedad existente. Esto permitirá tomar las decisiones óptimas, ni desmesuradas ni insuficientes, para lo cual es de utilidad el uso de una escala de gravedad, todo lo cual ha contribuido fuertemente a motivar al doctorando a realizar la presente tesis.

ÍNDICE

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos	iii
Resumen.....	v
Resum	vii
Abstract.....	ix
Prólogo.....	xi
Índice	xiii
Índice de Tablas	xix
Índice de Figuras.....	xxv

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación y razón de ser	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Estructura de la Tesis.....	4
1.4. Metodología	8
1.5. Alcance	9

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL CONOCIMIENTO

2.1. Introducción	11
2.2. El mantenimiento de los edificios.....	12
2.2.1. Conceptos de partida.....	12
2.2.2. Costes del edificio en su vida útil	15
2.2.3. Gestión de edificios	16
2.2.4. Las inspecciones periódicas.....	19

2.2.5. Manifiestos existentes sobre mantenimiento y rehabilitación.....	20
2.3. Diagnóstico del estado de conservación de áreas urbanas.....	23
2.3.1. Estudio del Ensanche de Barcelona.....	23
2.3.2. Estudio del casco antiguo de Vilanova i la Geltrú (Barcelona).....	24
2.3.3. Estudio del centro histórico de La Habana.....	26
2.4. Predicción de la vida útil de elementos constructivos.....	27
2.4.1. Introducción.....	27
2.4.2. Método para la predicción de la vida de servicio de los materiales de construcción.....	29
2.4.3. Sistema de gestión de la vida útil en el campo de la construcción.....	33
2.5. Planteamiento estadístico mediante técnicas de análisis de supervivencia	34
2.5.1. Introducción.....	34
2.5.2. Metodología de inspección.....	34
2.5.3. Metodología de análisis.....	36
2.6. Conclusiones.....	37

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE LAS NORMAS ITE EN VIGOR

3.1. Introducción.....	39
3.2. Metodología.....	40
3.3. Análisis comparativo entre las diferentes normas ITE.....	42
3.3.1. Relación de las normas ITE que hay en vigor en España y año de entrada en vigor.....	42
3.3.2. Aspectos comunes	45
3.3.3. Aspectos diferentes.....	46
3.3.4. Escalas de gravedad utilizadas en las normas ITE	48
3.3.5. Conclusiones.....	50
3.4. Investigación de la ITE en el extranjero.....	51
3.4.1. Introducción.....	51
3.4.2. Ayuntamiento de Roma	51
3.4.3. Ayuntamiento de París	54
3.4.4. Ayuntamiento de Londres	55
3.4.5. Ayuntamiento de Quebec	55
3.4.6. Análisis de la investigación realizada.....	55
3.5. Conclusiones.....	56

CAPÍTULO 4: PROPUESTA DE ESCALA DE GRAVEDAD

4.1. Introducción.....	59
------------------------	----

4.2. Metodología empleada.....	60
4.3. Escalas existentes de uso generalizado.....	61
4.3.1. Introducción.....	61
4.3.2. Análisis de las escalas existentes de uso generalizado.....	62
4.4. Escalas existentes en el ámbito de la construcción.....	63
4.4.1. Introducción.....	63
4.4.2. Análisis de escalas existentes en el ámbito de la construcción.....	64
4.5. Propuesta de escala de gravedad.....	66
4.5.1. Introducción.....	66
4.5.2. División del edificio en diferentes sistemas.....	67
4.5.3. Metodología de aplicación de la escala propuesta.....	68
4.5.4. Escala propuesta.....	70
4.5.5. Consideraciones adicionales según el elemento constructivo evaluado.....	73
4.6. Grado de gravedad total del edificio.....	76
4.6.1. Introducción.....	76
4.6.2. Análisis previo.....	77
4.6.3. Esquema de la metodología propuesta.....	78
4.6.4. Fase 1: Cálculo de la distribución de gravedad de cada sistema.....	79
4.6.5. Fase 2: Cálculo de la distribución de la gravedad del edificio.....	82
4.6.6. Fase 3: Cálculo de la gravedad resultante del sistema.....	83
4.6.7. Fase 4: Cálculo de la gravedad resultante total del edificio.....	88
4.6.8. Esquema de la metodología utilizada WGS/WGB y definiciones fundamentales.....	91
4.6.9. Aplicación a caso real de edificio.....	93
4.6.10. Análisis de la aplicación al caso real.....	105
4.7. Conclusiones y consideraciones finales.....	107

CAPÍTULO 5: VALIDACIÓN DE LA ESCALA PROPUESTA

5.1. Introducción.....	109
5.2. Fase 1: Análisis inicial.....	110
5.2.1. Bases de partida del ensayo.....	110
5.2.2. Incorporación de los datos.....	116
5.2.3. Análisis descriptivo inicial.....	117
5.3. Fase 2: Depuración de los datos y análisis.....	132
5.3.1. Depuración de los datos.....	132
5.3.2. Descriptiva final.....	136
5.3.3. Análisis de la capacidad discriminante de la escala.....	141
5.4. Fase 3: Mejora de la escala y propuesta de nueva escala.....	146
5.4.1. Propuesta de mejora de la escala.....	146

5.4.2. Propuesta de la nueva escala	155
5.5. Conclusiones.....	156

CAPÍTULO 6: PROPUESTA DE SISTEMA DE EVALUACIÓN DE FACHADAS (SEF)

6.1. Introducción.....	159
6.2. Metodología SEF: parte gráfica.....	161
6.2.1. Introducción.....	161
6.2.2. Obtención de datos	161
6.2.3. Representación gráfica de la fachada	161
6.2.4. Delimitación de las zonas degradadas	163
6.2.5. Casos especiales	164
6.3. Metodología SEF: parte numérica.....	165
6.3.1. Introducción.....	165
6.3.2. Cálculo del grado de gravedad de la zona j de la fachada, G_j	165
6.3.3. Indicador para la medida de la energía de impacto del desprendimiento....	166
6.3.4. Indicador para la medida de la probabilidad del desprendimiento	169
6.3.4.1. Análisis multivariante para la estimación del valor y_j	169
6.3.4.2. Identificación binaria de disfunciones en fachadas	178
6.3.4.3. Modelo de regresión para la estimación de y	179
6.3.4.4. Obtención del indicador, I_j , de medida de la probabilidad de desprendimiento a partir de la estimación del valor y_j	184
6.3.5. Algoritmo de aplicación del método SEF.....	185
6.4. Aplicación práctica de SEF	186
6.4.1. Casos de estudio	186
6.4.2. Cálculo del indicador de impacto, I_j	191
6.4.3. Cálculo del indicador de probabilidad de desprendimiento, P_j	192
6.4.4. Cálculo de los valores G_j	193
6.4.5. Cálculo del grado de gravedad total de la fachada	193

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

7.1. Introducción.....	197
7.2. Conclusiones generales	197
7.3. Conclusiones específicas	198
7.3.1. Estudio de las normas ITE en vigor en España	198
7.3.2. Propuesta de escala de gravedad de elementos constructivos	199
7.3.3. Validación de la escala propuesta.....	200
7.3.4. Sistema de Evaluación de Fachadas (SEF).....	201

7.4. Futuras líneas de investigación	201
BIBLIOGRAFÍA	205
ANEXO I: ESTUDIO DE LAS NORMAS ITE EN VIGOR	
I.1. Introducción.....	215
I.2. Datos principales de las normas ite en vigor	216
ANEXO II: TRABAJO DE CAMPO DEL DOCTORANDO SOBRE DIAGNOSIS DE EDIFICIOS Y ADMINISTRACIÓN PÚBLICA	
II.1. Introducción	221
II.2. Características del trabajo de campo.....	222
II.3. Estudio del efecto suceso desencadenante en el marco normativo y en el marco sociológico.....	231
II.4. Criterios de intervención en inspección y diagnosis de edificios	235
ANEXO III: VALIDACIÓN DE LA ESCALA DE GRAVEDAD	
III.1. Introducción	251
III.2. Análisis de las imágenes por grupos con el mismo valor G_r	252
III.3. Regresión logística binaria para cada grado (valor G_r) para todas las variables consideradas.....	275
III.4. Datos recopilados de la muestra total	287
ANEXO IV: SISTEMA DE EVALUACIÓN DE FACHADAS (SEF)	
IV.1. Introducción.....	293
IV.2. Aplicación práctica de sef a los casos de estudio	294

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1. Escala de gravedad de fachadas en el estudio en Vilanova i la Geltrú</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 2.2. Códigos de gravedad de lesiones en fachadas de Hospitalet de Llobregat ..</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 3.1. Cuestionario enviado a los departamentos ITE de los diferentes ayuntamientos con ITE en vigor</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 3.2. Municipios y comunidades autónomas (CC.AA.) con norma ITE en vigor agrupados por CC.AA. (febrero 2011)</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 3.3. Calificación del estado general del edificio, según la ITE de Cataluña.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 3.4.- Calificación del grado de deterioro según la ITE de Palma de Mallorca...50</i>	
<i>Tabla 4.1. Escalas existentes estudiadas y características principales</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 4.2. Escalas del ámbito de la construcción estudiadas y características principales</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 4.3. Modelo de sistemas a evaluar en la escala propuesta</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 4.4. Propuesta de escala de gravedad de elementos constructivos.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 4.5. Propuesta de escala de gravedad específica para fachadas.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 4.6. Ejemplo numérico para el sistema 1</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 4.7. Prioridad de la intervención</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 4.8. Extensión de la disfunción con G_{max}</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 4.9. Ejemplo numérico para todo el edificio</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 4.10. Pesos $w_i^{(s)}$ en función de los valores de la razón r.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 4.11. Ejemplo de pesos asignados a cada sistema del edificio</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 4.12. Aplicación del método propuesto al ejemplo numérico</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 4.13. Valores de G_j y A_j obtenidos para el sistema 1</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 4.14. Valores q_k del sistema 1.....</i>	<i>97</i>

<i>Tabla 4.15. Valores q_k del sistema 2</i>	98
<i>Tabla 4.16. Valores q_k del sistema 3 para las tres hipótesis</i>	100
<i>Tabla 4.17. Valores q_k de los sistemas 4 a 8</i>	101
<i>Tabla 4.18. Gravedad de cada sistema en el caso real</i>	103
<i>Tabla 4.19. Gravedad del conjunto del edificio en el caso real</i>	104
<i>Tabla 5.1. Relación de cursos donde se pasaron los cuestionarios</i>	115
<i>Tabla 5.2. Media aritmética y desviación tipo de los valores recogidos</i>	119
<i>Tabla 5.3. Distribución de frecuencias de las respuestas GA para GR=0</i>	121
<i>Tabla 5.4. Distribución de respuestas GA para GR=3</i>	123
<i>Tabla 5.5. Distribución de respuestas GA para GR=7</i>	125
<i>Tabla 5.6. Titulaciones de la muestra de técnicos que han rellenado el cuestionario</i>	128
<i>Tabla 5.7. Ejemplo del valor de la diferencia total, DT, para el participante ID: 101</i>	129
<i>Tabla 5.8. Frecuencia de participantes por intervalos de diferencia (DT)</i>	130
<i>Tabla 5.9. Muestra por titulaciones después de la 1ª depuración</i>	133
<i>Tabla 5.10. Participantes con alguna casilla sin valor</i>	134
<i>Tabla 5.11. Muestra por titulaciones después de la 2ª depuración</i>	134
<i>Tabla 5.12. Valores anómalos según el valor de GR y el número de observación</i>	135
<i>Tabla 5.13. Descriptiva de la variable desviación (Dev) de cada una de las 3 observaciones, para cada valor de GR</i>	138
<i>Tabla 5.14. Estadística descriptiva de la DevId para cada valor de GR</i>	140
<i>Tabla 5.15. Regresión Logística Binaria de “ok vs titulación”</i>	143

<i>Tabla 5.16. Probabilidad de asignación correcta por titulaciones y por valores de GR.....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 5.17. p-valores de Regresión Logística Binaria para cada valor de GR para cada uno de los predictores</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 5.18. Tabla inicial para la Escala General.....</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 5.19. Errores de Clasificación de Tipo I y II para la Escala General.....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 5.20. Tabla de Errores Tipo I, Tipo II y global para cada GR.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 5.21. Proceso de simplificación de la escala</i>	<i>154</i>
<i>Tabla 5.22. Propuesta de escala simplificada de gravedad de elementos constructivos en edificios.....</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 5.23. Correspondencia entre valores de G y de GS</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 6.1. Ficha de inspección de fachada</i>	<i>162</i>
<i>Tabla 6.2. Zonas degradadas delimitadas de fachada</i>	<i>163</i>
<i>Tabla 6.3. Valoración de los expertos para las 10 primeras imágenes de fachadas ...</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 6.4. Datos estadísticos de la valoración de los expertos.....</i>	<i>173</i>
<i>Tabla 6.5. Datos estadísticos de la valoración de los expertos respecto los valores de referencia o patrón (T0).....</i>	<i>174</i>
<i>Tabla 6.6. Datos de disfunciones y asignación media de expertos para las 10 primeras imágenes.....</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 6.7. Valores estimados por el modelo para los distintos escenarios de disfunciones observadas, ordenados por la y estimada, \hat{y}</i>	<i>184</i>
<i>Tabla 6.8.- Características de los casos estudiados.....</i>	<i>188</i>
<i>Tabla 6.9. Ficha de inspección del caso real 6</i>	<i>190</i>
<i>Tabla 6.10. Cálculo de I_j para el caso real 6</i>	<i>191</i>
<i>Tabla 6.11. Densidades utilizadas</i>	<i>192</i>
<i>Tabla 6.12. Cálculo de P_j para el caso real 6.....</i>	<i>192</i>
<i>Tabla 6.13. Cálculo de G^j para el caso real 6.....</i>	<i>193</i>
<i>Tabla 6.14. Resumen de superficies para el caso real 6</i>	<i>194</i>

<i>Tabla 6.15. Cálculo de w_j acumulado, W_j, para el caso real 6 con valores de G_j ordenados de forma ascendente</i>	194
<i>Tabla 7.1. Correspondencia entre valores de G y de GS</i>	200
<i>Tabla I.1. Características generales de todas las normas ITE en vigor</i>	216
<i>Tabla I.2. Características específicas de algunas normas ITE en vigor (una por CC.AA.)</i>	217
<i>Tabla I.3. Apartados existentes en los documentos ITE</i>	218
<i>Tabla I.4. Subapartados existentes en los documentos ITE (dentro de cada sistema constructivo)</i>	219
<i>Tabla II.1. Datos totales del trabajo de campo del doctorando en materia de inspección</i>	223
<i>Tabla III.1. Distribución de frecuencias de las respuestas GA para GR=0</i>	253
<i>Tabla III.2. Distribución de frecuencias de las respuestas GA para GR=1</i>	255
<i>Tabla III.3. Distribución de respuestas GA para GR=2</i>	257
<i>Tabla III.4. Distribución de respuestas GA para GR=3</i>	259
<i>Tabla III.5. Distribución de respuestas GA para GR=4</i>	261
<i>Tabla III.6.- Distribución de respuestas GA para GR=5</i>	263
<i>Tabla III.7. Distribución de respuestas GA para GR=6</i>	265
<i>Tabla III.8. Distribución de respuestas GA para GR=7</i>	267
<i>Tabla III.9. Distribución de respuestas GA para GR=8</i>	269
<i>Tabla III.10. Distribución de respuestas GA para GR=9</i>	271
<i>Tabla III.11. Distribución de respuestas GA para GR=10</i>	273
<i>Tabla III. 12. p-valores (odds-ratio) de Regresión Logística Binaria para cada valor de GR para cada uno de los predictores</i>	275
<i>Tabla III. 13. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=0</i>	276

<i>Tabla III. 14. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=1</i>	277
<i>Tabla III. 15. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=2</i>	278
<i>Tabla III. 16. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=3</i>	279
<i>Tabla III. 17. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=4</i>	280
<i>Tabla III. 18. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=5</i>	281
<i>Tabla III. 19. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=6</i>	282
<i>Tabla III. 20. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=7</i>	283
<i>Tabla III. 21. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=8</i>	284
<i>Tabla III. 22. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=9</i>	285
<i>Tabla III. 23. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=10</i>	286
<i>Tabla IV.1. Densidades utilizadas</i>	294
<i>Tabla IV.2. Cálculo de I_j para el caso real 1</i>	298
<i>Tabla IV.3. Cálculo de P_j para el caso real 1</i>	298
<i>Tabla IV.4. Cálculo de G_j para el caso real 1</i>	298
<i>Tabla IV.5. Cálculo de I_j para el caso real 2</i>	302

<i>Tabla IV.6. Cálculo de P_j para el caso real 2</i>	302
<i>Tabla IV.7. Cálculo de G_j para el caso real 2</i>	302
<i>Tabla IV.8. Cálculo de I_j para el caso real 3</i>	306
<i>Tabla IV.9. Cálculo de P_j para el caso real 3</i>	307
<i>Tabla IV.10 . Cálculo de G_j para el caso real 3</i>	308
<i>Tabla IV.11. Cálculo de I_j para el caso real 4</i>	313
<i>Tabla IV.12. Cálculo de P_j para el caso real 4</i>	313
<i>Tabla IV.13. Cálculo de G_j para el caso real 4</i>	314
<i>Tabla IV.14. Cálculo de I_j para el caso real 5</i>	321
<i>Tabla IV.15. Cálculo de P_j para el caso real 5</i>	321
<i>Tabla IV.16. Cálculo de G_j para el caso real 5</i>	322
<i>Tabla IV.17. Cálculo de I_j para el caso real 6</i>	325
<i>Tabla IV.18. Cálculo de P_j para el caso real 6</i>	325
<i>Tabla IV.19. Cálculo de G_j para el caso real 6</i>	325
<i>Tabla IV.20. Cálculo de I_j para el caso real 7</i>	331
<i>Tabla IV.21. Cálculo de P_j para el caso real 7</i>	331
<i>Tabla IV.22. Cálculo de G_j para el caso real 7</i>	332

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1. Estructura y contenido del cuerpo principal de la tesis</i>	6
<i>Figura 1.2. Estructura y contenido de los anexos. Relación con los Capítulos 3 a 6</i>	7
<i>Figura 2.1. Degradación de las diferentes propiedades de un elemento constructivo Elaboración adaptada. (Moser, 1999)</i>	13
<i>Figura 2.2. Actividades de mantenimiento (Takata et al., 2004)</i>	15
<i>Figura 2.3. Distribución del grado de degradación del núcleo antiguo de Vilanova i la Geltrú</i>	26
<i>Figura 2.4. Estado Técnico de las edificaciones del centro Histórico de la Habana (Piñero, 2013)</i>	28
<i>Figura 2.5. Curvas de probabilidad para los códigos de deterioro del elemento “revestimiento” (Flourentzou et al., 2000)</i>	31
<i>Figura 2.6. Probabilidades acumuladas de los códigos de deterioro del elemento revestimiento (Flourentzou et al., 2000)</i>	31
<i>Figura 2.7. Curvas de degradación adaptadas de Shohet, 1999 (Gaspar y De Brito, 2005b)</i>	32
<i>Figura 2.8. Evolución de la tasa de fallo con el tiempo (bathtub curve)</i>	37
<i>Figura 3.1. Mapa de municipios y comunidad autónoma con ITE en vigor</i>	43
<i>Figura 3.2. Número de normas ITE entradas en vigor por año</i>	44
<i>Figura 3.3. Antigüedad de los edificios que deben pasar la ITE</i>	45
<i>Figura 4.1. Ejemplo de aplicación de la Escala Visual Analógica (EVA)</i>	62
<i>Figura 4.2. Imágenes de zonas de elementos constructivos</i>	68
<i>Figura 4.3. Metodología de aplicación de la escala propuesta</i>	70
<i>Figura 4.4. Propuesta de colores asociados a los diferentes grados de gravedad</i>	73
<i>Figura 4.5. Ejemplo de aplicación a forjado, de colores asociados a valores de G</i>	74
<i>Figura 4.6. Procedimiento de cálculo de gravedades para cada sistema y para el conjunto del edificio</i>	78

<i>Figura 4.7. Función para determinar el valor de $G_r^{(s)}$</i>	84
<i>Figura 4.8. Visualización gráfica de las fases del método de cálculo de b) $G_r^{(s)}$ y c) $G_{rw}^{(s)}$</i>	87
<i>Figura 4.9. Ejemplo de función sigmoide</i>	90
<i>Figura 4.10. Procedimiento de cálculo de gravedades y expresiones matemáticas utilizadas para cada sistema y para el conjunto del edificio</i>	93
<i>Figura 4.11. Vistas de la fachada principal</i>	95
<i>Figura 4.12. Vistas de la fachada posterior</i>	96
<i>Figura 4.13. Vista en a de la medianera 1, a nivel de PB</i>	97
<i>Figura 4.14. Zona de entrevigado</i>	98
<i>Figura 4.15. Vista del forjado de P4^a (a) y forjado oculto por falso techo en P2^a (b)</i> ... 99	
<i>Figura 4.16. Marco de madera devastado por ataque de termita en PB</i>	99
<i>Figura 5.1. Metodología para la validación de la escala propuesta</i>	110
<i>Figura 5.2. Imágenes de elementos constructivos que formaban parte del ensayo</i>	112
<i>Figura 5.3. Cuestionario para la aplicación de la escala</i>	116
<i>Figura 5.4. Imagen de pantalla (Excel) de la estructura de datos</i>	118
<i>Figura 5.5. Ejemplo explicativo de boxplot</i>	120
<i>Figura 5.6. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=0$</i>	121
<i>Figura 5.7. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 3, 17 y 25 ($GR=0$)</i>	122
<i>Figura 5.8. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 3, 17 y 25 ($GR=0$)</i>	123
<i>Figura 5.9. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=3$</i>	123

<i>Figura 5.10. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 1, 7 y 14 (GR=3)</i>	124
<i>Figura 5.11. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 1, 7 y 14 (GR=3)</i>	124
<i>Figura 5.12. Distribución de la desviación (Dev = GA – GR) para GR=7</i>	126
<i>Figura 5.13. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 4, 10 y 24 (GR=7)</i>	126
<i>Figura 5.14. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 4, 10 y 24 (GR=7)</i>	127
<i>Figura 5.15. Boxplot de todos los valores obtenidos según el n^o de observación y el valor GR</i>	128
<i>Figura 5.16. Gráficos de frecuencia de participantes por intervalos de diferencia (DT)</i>	130
<i>Figura 5.17. Resultado 1 de ensayo de contraste inter-laboratorios (ANEFHOP, 2005)</i>	131
<i>Figura 5.18. Resultado 2 de ensayo de contraste inter-laboratorios (ANEFHOP, 2005)</i>	132
<i>Figura 5.19. Boxplot después de la primera depuración de los valores anómalos</i>	136
<i>Figura 5.20. Tabla parcial en Minitab de la muestra de datos depurada</i>	137
<i>Figura 5.21. Histograma de frecuencias de las desviaciones (Dev) para cada uno de los valores de G</i>	139
<i>Figura 5.22. Rediseño de las tablas para nuevos cálculos</i>	140
<i>Figura 5.23. Densidades estimadas de la variable DevId según el valor de GR</i>	141
<i>Figura 5.24. Diagrama de flujo del algoritmo de clustering propuesto</i>	147
<i>Figura 5.25. Gráfico de Errores Tipo I y II para los once valores de GR (Scatterplot)</i>	152
<i>Figura 5.26. Proceso de simplificación de la escala</i>	154
<i>Figura 5.27. Gráfico de clustering para la simplificación de la escala</i>	155
<i>Figura 5.28. Propuesta de colores asociados a los diferentes grados de gravedad en la Escala Simplificada</i>	156
<i>Figura 6.1. Esquema de la metodología Sistema de Evaluación de Fachadas (SEF)</i>	160
<i>Figura 6.2. Ejemplo de imagen y representación gráfica de fachada</i>	162

<i>Figura 6.3. Ejemplo de delimitación con polilíneas (a) y rectángulos (b)</i>	<i>164</i>
<i>Figura 6.4. Ejemplo de lesión de licuefacción en fachada de tapia</i>	<i>165</i>
<i>Figura 6.5. Función de valor I_j</i>	<i>167</i>
<i>Figura 6.6. Esquema de la metodología para determinar el valor y</i>	<i>170</i>
<i>Figura 6.7. Seis ejemplos de las 197 imágenes del ensayo</i>	<i>171</i>
<i>Figura 6.8. Gráfica de caja (Boxplot) de los datos estadísticos de la valoración de los expertos respecto los valores de referencia o patrón (T_0)</i>	<i>175</i>
<i>Figura 6.9. Resultados a partir del análisis de la varianza de una vía (a, b) y del análisis de la varianza de dos vías (c)</i>	<i>176</i>
<i>Figura 6.10. Gráficas de caja (Boxplot) de las diferencias de las medias de los valores asignados por los expertos respecto los valores de referencia .</i>	<i>177</i>
<i>Figura 6.11. Resultados a partir del Test de Friedman</i>	<i>178</i>
<i>Figura 6.12. Resumen de estadísticos para la selección del modelo y modelo propuesto</i>	<i>181</i>
<i>Figura 6.13. Estimaciones de los parámetros en el modelo M1, variabilidad y significación de los parámetros</i>	<i>182</i>
<i>Figura 6.14. Estimaciones de los parámetros en el modelo M2, variabilidad y significación de los parámetros</i>	<i>182</i>
<i>Figura 6.15. Gráficas de residuos (test de normalidad, nube de puntos según valores predichos, histograma, nube de puntos según orden de observación)....</i>	<i>183</i>
<i>Figura 6.16. Grafica función de valor P_j</i>	<i>185</i>
<i>Figura 6.17. Catorce imágenes de los siete casos estudiados</i>	<i>187</i>
<i>Figura 6.18. Imágenes del caso real 6</i>	<i>189</i>
<i>Figura 6.19. Representación gráfica de la fachada del caso real 6, con delimitación de las zonas degradadas</i>	<i>161</i>
<i>Figura II.1. Desarrollo del Anexo II</i>	<i>222</i>
<i>Figura II.2. Evolución del número de actuaciones</i>	<i>224</i>

<i>Figura II.3. Evolución del número de inspecciones exclusivamente de fachadas, y del número de veces que se han colocado vallas en la vía pública por riesgo de desprendimientos</i>	<i>226</i>
<i>Figura II.4. Evolución del número de consultas de ciudadanos en materia de edificios privados en mal estado</i>	<i>227</i>
<i>Figura II.5. Evolución del número de emergencias</i>	<i>229</i>
<i>Figura II.6. Evolución del número de incendios y de explosiones de gas en edificios</i>	<i>230</i>
<i>Figura II.7. Evolución del número de informes para expedientes de ruina</i>	<i>230</i>
<i>Figura II.8. Año 1997. Evolución mensual del número de inspecciones y órdenes de ejecución en materia de fachadas</i>	<i>233</i>
<i>Figura II.9. Desarrollo de la Sección II.4</i>	<i>236</i>
<i>Figura II.10. Relación grado de fiabilidad del diagnóstico (F) – tiempo empleado en la inspección (t)</i>	<i>237</i>
<i>Figura II.11. Imágenes de restos de material en el suelo, que indican que se ha producido ataque de termita subterránea en la estructura de madera</i>	<i>242</i>
<i>Figura II.12. Imágenes de carriles termíticos</i>	<i>243</i>
<i>Figura II.13. Imágenes de conos termíticos</i>	<i>244</i>
<i>Figura II.14. Imágenes de construcciones termíticas del tipo “nido de resistencia”</i>	<i>244</i>
<i>Figura III.1. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=0$</i>	<i>253</i>
<i>Figura III.2. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 3, 17 y 25 ($GR=0$)</i>	<i>254</i>
<i>Figura III.3. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 3, 17 y 25 ($GR=0$)</i>	<i>254</i>
<i>Figura III.4. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=1$</i>	<i>255</i>
<i>Figura III.5. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 6, 21 y 28 ($GR=1$)</i>	<i>256</i>
<i>Figura III.6. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 6, 21 y 28 ($GR=1$)</i>	<i>256</i>
<i>Figura III.7. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=2$</i>	<i>257</i>

<i>Figura III.8. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 8, 18 y 31 (GR=2)</i>	<i>258</i>
<i>Figura III.9. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 8, 18 y 31 (GR=2)</i>	<i>258</i>
<i>Figura III.10. Distribución de la desviación (Dev = GA – GR) para GR=3.....</i>	<i>259</i>
<i>Figura III.11. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 1, 7 y 14 (GR=3)</i>	<i>260</i>
<i>Figura III.12. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 1, 7 y 14 (GR=3)</i>	<i>260</i>
<i>Figura III.13. Distribución de la desviación (Dev = GA – GR) para GR=4.....</i>	<i>261</i>
<i>Figura III.14. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 13, 22 y 32 (GR=4)</i>	<i>262</i>
<i>Figura III.15. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 13, 22 y 32 (GR=4)</i>	<i>262</i>
<i>Figura III.16. Distribución de la desviación (Dev = GA – GR) para GR=5.....</i>	<i>263</i>
<i>Figura III.17. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 2, 20 y 26 (GR=5)</i>	<i>264</i>
<i>Figura III.18. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 2, 20 y 26 (GR=5)</i>	<i>264</i>
<i>Figura III.19. Distribución de la desviación (Dev = GA – GR) para GR=6.....</i>	<i>265</i>
<i>Figura III.20. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 12, 15 y 33 (GR=6)</i>	<i>266</i>
<i>Figura III.21. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 12, 15 y 33 (GR=6)</i>	<i>266</i>
<i>Figura III.22. Distribución de la desviación (Dev = GA – GR) para GR=7.....</i>	<i>267</i>
<i>Figura III.23. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 4, 10 y 24 (GR=7)</i>	<i>268</i>
<i>Figura III.24.- Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 4, 10 y 24 (GR=7)</i>	<i>268</i>
<i>Figura III.25. Distribución de la desviación (Dev = GA – GR) para GR=8.....</i>	<i>269</i>
<i>Figura III.26. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 9, 16 y 30 (GR=8)</i>	<i>270</i>
<i>Figura III.27. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 9, 16 y 30 (GR=8)</i>	<i>270</i>
<i>Figura III.28. Distribución de la desviación (Dev = GA – GR) para GR=9.....</i>	<i>271</i>

<i>Figura III.29. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 5, 19 y 27 (GR=9)</i>	<i>272</i>
<i>Figura III.30. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 5, 19 y 27 (GR=9)</i>	<i>272</i>
<i>Figura III.31. Distribución de la desviación (Dev = GA – GR) para GR=10</i>	<i>273</i>
<i>Figura III.32. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 11, 23 y 29 (GR=10)</i>	<i>274</i>
<i>Figura III.33. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 11, 23 y 29 (GR=10)</i>	<i>274</i>
<i>Figura III.34. Muestra de datos recogidos en 58 técnicos (ID=101 a ID=516) de la muestra total de 374 técnicos</i>	<i>287</i>
<i>Figura IV.1. Caso real 1. Alzado fachada</i>	<i>295</i>
<i>Figura IV.2. Caso real 1. Detalles fotográficos</i>	<i>296</i>
<i>Figura IV.3. Caso real 1. Delimitación de zonas degradada</i>	<i>297</i>
<i>Figura IV.4. Caso real 2. Alzado fachada</i>	<i>299</i>
<i>Figura IV.5. Caso real 2. Detalles fotográficos</i>	<i>300</i>
<i>Figura IV.6. Caso real 2. Delimitación de zonas degradadas</i>	<i>301</i>
<i>Figura IV.7. Caso real 3. Alzados fachadas</i>	<i>303</i>
<i>Figura IV.8. Caso real 3. Delimitación de zonas degradadas de la fachada A</i>	<i>304</i>
<i>Figura IV.9. Caso real 3. Delimitación de zonas degradadas de la fachada B</i>	<i>305</i>
<i>Figura IV.10. Caso real 4. Alzados fachadas</i>	<i>309</i>
<i>Figura IV.11. Caso real 4. Delimitación de zonas degradadas de la fachada A</i>	<i>310</i>
<i>Figura IV.12. Caso real 4. Delimitación (1) de zonas degradadas de la fachada B ...</i>	<i>311</i>
<i>Figura IV.13. Caso real 4. Delimitación (2) de zonas degradadas de la fachada</i>	<i>312</i>
<i>Figura IV.14. Caso real 5. Alzados fachadas</i>	<i>315</i>
<i>Figura IV.15. Caso real 5. Delimitación de zonas degradadas de la fachada A</i>	<i>316</i>
<i>Figura IV.16. Caso real 5. Delimitación de zonas degradadas de la fachada B</i>	<i>317</i>
<i>Figura IV.17. Caso real 5. Delimitación de zonas degradadas de la fachada C</i>	<i>318</i>

<i>Figura IV.18. Caso real 5. Delimitación de zonas degradadas de la fachada D</i>	319
<i>Figura IV.19. Caso real 5. Delimitación de zonas degradadas de las fachadas B y D</i>	320
<i>Figura IV.20. Caso real 6. Alzado fachada</i>	323
<i>Figura IV.21. Caso real 6. Delimitación de zonas degradadas</i>	324
<i>Figura IV.22. Caso real 7. Alzados fachadas</i>	326
<i>Figura IV.23. Caso real 7. Delimitación de zonas degradadas de la fachada A</i>	327
<i>Figura IV.24. Caso real 7. Delimitación de zonas degradadas de la fachada B</i>	328
<i>Figura IV.25. Caso real 7. Delimitación de zonas degradadas de la fachada C</i>	329

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. JUSTIFICACIÓN Y RAZÓN DE SER

Con cierta frecuencia se puede ver en los medios de comunicación casos de colapsos de edificios que se van produciendo en España, en ocasiones con víctimas, como por ejemplo el caso del siniestro en Palma de Mallorca el 26 de octubre de 2009, en el que se hundió un edificio de cincuenta años de edad, pereciendo siete personas (Ruiz, 2014).

Realizando un estudio de este tema, se comprueba que este no es un caso aislado, y el número de colapsos de edificios que se producen cada año en nuestro país es apreciable. Para dar una idea, sólo en el municipio de Manresa (Barcelona), que tiene 75.000 habitantes, durante un periodo de tres meses en el año 2006 colapsaron doce edificios, a razón de aproximadamente uno por semana (Diputación de Barcelona, 2009). Igualmente, en el diario El País se publicó el 29 de noviembre de 2005 un artículo de varias páginas, en el que se hacía un estudio somero sobre hundimiento de edificios en Cataluña en aquel año 2005, en el que se documentaban 21 casos de colapsos de edificios. En Vilanova i la Geltrú (Barcelona), municipio de 67.000 habitantes, colapsaron tres edificios en un intervalo de dos días en octubre de 1994, coincidiendo con unas lluvias de gran intensidad.

Tal y como se ha dicho en el prólogo, en la amplia experiencia del doctorando durante 19 años en materia de diagnosis y terapéutica de edificios, el mismo ha debido intervenir en 24 casos de colapsos de edificios³, tanto para diagnosticar las causas de los siniestros, como para decidir qué medidas tomar con la parte de edificio que no había colapsado y con los edificios colindantes, que tal vez podían haber quedado afectados. Se podrían encontrar otros muchos ejemplos y datos que avalan que el número de colapsos de edificios que se producen en España cada año es apreciable.

³ Dicho trabajo de campo abarca del año 1993 al año 2010, y sus datos están recogidos y analizados en el Anexo II.

Si ampliamos el marco de referencia geográfico, tenemos que esta problemática también se da, aunque con muy fuertes contrastes entre unos países y otros, habiendo países donde la problemática de colapsos de edificios es reducida, hasta otros donde es muy elevada. Un ejemplo de país donde este problema es muy grave es Cuba, donde en el Centro Histórico de La Habana hay una media de 243 colapsos de edificios (de diversa entidad) al año, es decir una media de 2 colapsos cada 3 días (Piñero, 2013). Cabe decir que el ámbito de dicho Centro Histórico abarca sólo una superficie de 2,1 km², en la que hay 3.510 edificios (22.263 viviendas) y 67.000 habitantes, datos de ámbito que todavía dan más espectacularidad a la media de colapsos referida. Se debe resaltar además que el Centro Histórico de la Habana tiene alto valor histórico y arquitectónico, y tiene protección como Patrimonio de la Humanidad.

Aparte de los hundimientos de edificios, existen edificios que sin haber colapsado, presentan severas lesiones estructurales que requieren pronta intervención (Calavera, 1996). Nuevamente poniendo como muestra el trabajo de campo del doctorando, este ha dictaminado desalojar 32 edificios (total o parcialmente) debido a que los mismos padecían graves lesiones estructurales, que suponían un muy grave riesgo para las personas que vivían en estos edificios.

Es importante resaltar que muchos de los casos de colapsos y de lesiones graves se podrían haber evitado realizando **inspecciones periódicas** de los edificios, y en consecuencia realizando un **mantenimiento** adecuado de los mismos. Además está demostrado (Croome, 1980) que realizar un adecuado mantenimiento del edificio con revisiones periódicas resulta **más económico** a medio plazo, ya que se evita que aparezcan lesiones graves, mucho más costosas de reparar.

Sobre los conceptos planteados es de utilidad conocer cuál es el marco legal en España. En los artículos 9 y 45 del Real Decreto Legislativo 2/2008, de 20 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Suelo, establece que los propietarios de toda clase de terrenos y construcciones deberán mantenerlos en condiciones de seguridad, salubridad y ornato público. También contempla el precepto que comprende todas aquellas actuaciones de la Administración Local derivadas de la función de policía urbana y dirigidas al restablecimiento de las mencionadas condiciones. Este deber de conservación de los edificios por parte de los propietarios ya se cita por ejemplo en el artículo 19.1 de la Ley 6/1998, en el artículo 10 del Reglamento de Disciplina Urbanística, etc.

En contradicción con lo referido en los dos anteriores párrafos, es un hecho contrastado que en España no está arraigada entre la ciudadanía una verdadera cultura sobre el mantenimiento de los edificios, y los ciudadanos que son propietarios de edificios, por regla general tienen la percepción que los edificios son para toda la vida y no hace falta hacer revisiones periódicas ni operaciones de mantenimiento, cuando la realidad es bien diferente (Casanovas, 1997). Es decir, que si bien está demostrado técnica y económicamente que es necesario hacer inspecciones periódicas de los edificios y hacer mantenimiento, y que la ley obliga a los propietarios de los edificios a conservarlos en buen estado, se tiene que en general estas inspecciones periódicas y mantenimiento no se realizan.

Análogamente esta temática es de gran actualidad y oportunidad, puesto que cada vez hay más concienciación por parte de las administraciones públicas, colegios profesionales y medios de comunicación respecto a la importancia del mantenimiento de los edificios. De hecho, varios ayuntamientos de España tienen en vigor una ordenanza que obliga a que los propietarios de los edificios contraten técnicos para que realicen revisiones periódicas de los edificios⁴, que en la mayor parte de los casos se denomina ITE (Inspección Técnica de Edificios), y que es de concepción análoga a la ITV de los vehículos, sólo que aplicada a los edificios. Para dar si cabe más noción de oportunidad a la tesis, desde febrero de 2011 está en vigor la ITE en toda Cataluña, a través del Decreto 187/2010, de 23 de noviembre, sobre la inspección técnica de edificios de viviendas, derivado del artículo 28 de la *Llei 18/2007 del dret a l'habitatge* (Ley del derecho a la vivienda).

Más reciente todavía y de mayor ámbito geográfico es el Real Decreto Ley 8/2011 que está en vigor desde julio de 2012, de aplicación en toda España, donde se estipula que en todos los municipios de más de 25.000 habitantes es obligatorio que se realice la ITE en los edificios de más de 50 años de edad. Las últimas normas al cierre de esta tesis sobre la referida temática son la Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas, y el Real Decreto Ley 233/2013, en vigor desde julio de 2013, también de aplicación en toda España. En dicho RDL, en su Anexo II, Parte I, se explican las características que debe reunir el que se denomina Informe de Evaluación del Edificio (IEE).

Para realizar las inspecciones periódicas de los edificios es de gran utilidad el poder **cuantificar** hasta qué punto las deficiencias existentes son graves o no, con objeto de facilitar la toma de decisiones y priorizar las intervenciones terapéuticas. De hecho se han utilizado y utilizan numerosas **escalas** diferentes entre sí para valorar el grado de gravedad de los elementos constructivos. Así por ejemplo, en todas las normas ITE en vigor en España se debe valorar la gravedad de las deficiencias existentes en el edificio. Pero **no existe consenso común** y estas escalas son diferentes entre sí según a la norma ITE a que pertenezcan. De igual manera, en el estudio que se está realizando del Centro Histórico de La Habana se utiliza su propia escala, la cual es diferente a las escalas utilizadas en otros estudios, que a su vez también difieren entre sí.

Todo lo referido muestra la justificación y razón de ser de esta tesis, en la que se hace propuesta y validación de escala de gravedad de elementos constructivos en edificios, quedando por tanto de manifiesto la importancia, así como la elevada oportunidad y actualidad de la temática tratada en la misma.

1.2. OBJETIVOS

El **objetivo general** de la tesis es realizar la **propuesta de escala de gravedad de daños en edificios**, que sea de aplicación a cualquier tipo de elemento constructivo. En el marco de la inspección de edificios resulta de utilidad disponer de una escala común y

⁴ Incluye edificios de titularidad privada, y en algunas ordenanzas también edificios de titularidad pública.

efectiva que permita valorar el grado de gravedad de los elementos constructivos, lo que facilita la toma de decisiones y la priorización de las intervenciones.

Como complemento y desarrollo del objetivo general se presentan los siguientes **objetivos específicos**:

- Proponer una escala para valorar el grado de gravedad de elementos constructivos en edificios, utilizando para valorar el grado de gravedad el método de asignación directa.
- Diseñar un método de cálculo para determinar el grado de gravedad del edificio, a partir de los grados de gravedad de los elementos constructivos que componen el edificio.
- Validar la escala propuesta verificando experimentalmente cómo funciona la misma. Análogamente, a través del análisis estadístico de los datos obtenidos experimentalmente determinar cuál es la escala idónea para el caso de asignación directa.
- Presentar un método de valoración de gravedad de zonas de fachadas, basado en la utilización de indicadores, con objeto de reducir en la medida de lo posible la variabilidad entre técnicos para valorar el grado de gravedad de una zona de fachada. Este método constituye una alternativa al anterior método basado en asignación directa.
- Contrastar mediante la aplicación a 7 casos reales de edificios que el método de valoración de gravedad de zonas de fachadas, basado en la utilización de indicadores, da resultados análogos al método de asignación directa.

Cabe decir que de los objetivos referidos se derivan una serie de **beneficios generales**, como son colaborar en la mejora del estado de salud de los edificios, en una mayor eficiencia económica y en la reducción del número de patologías graves y de situaciones de riesgo. Análogamente, el uso de la escala de gravedad también colabora a facilitar a personas sin formación técnica (como es el caso de la mayor parte de los propietarios e inquilinos de los edificios, responsables de las administraciones públicas, juristas, legisladores, etc.) el comprender hasta qué punto un edificio presenta deficiencias graves o no, lo que a su vez colabora a un aumento de la concienciación y nivel de conocimientos de la sociedad respecto al mantenimiento y conservación de los edificios, todo lo cual repercute notablemente en la mejora de la calidad de vida de la sociedad.

1.3. ESTRUCTURA DE LA TESIS

La tesis está estructurada en siete capítulos, ordenados según un proceso lógico de desarrollo en función de los objetivos de la investigación. Los referidos capítulos así como la relación entre los mismos se presentan en la *Figura 1.1*.

El **Capítulo 1** es la introducción, y recoge la justificación y la razón de ser de la tesis, los objetivos, la estructura de esta tesis, la metodología empleada y el alcance.

El **Capítulo 2** constituye el estado del conocimiento del marco general en que se incluye la tesis, sintetizando los numerosos estudios sobre la gestión y mantenimiento de edificios, que, en todos los casos se centran en aspectos técnicos, si bien en ocasiones, con algunas consideraciones de tipo económico y legal. Análogamente se exponen ejemplos de diagnosis del estado de conservación de áreas urbanas con centenares o miles de edificios.

Asimismo también se hace alusión a las recientes investigaciones sobre métodos estadísticos, aplicados al mantenimiento de edificios, principalmente a los modelos matemáticos de análisis de técnicas de supervivencia, para prever el progreso en el tiempo de una determinada patología. En todos los estudios explicados se utilizan diversos métodos y escalas para valorar el grado de gravedad de elementos constructivos en edificios.

En el **Capítulo 3** se incluye un estudio sobre el funcionamiento de las normas⁵ ITE que hay vigentes en diversos ayuntamientos de España así como en toda la comunidad autónoma de Cataluña, siendo reseñable que cuando se realizó este estudio (enero de 2009 a febrero de 2011) no se encontró ningún estudio que evaluara cómo estaban funcionando y cómo se estaban gestionando las diversas normas ITE que hay en España, y ni tan sólo se conocía un documento que citara los ayuntamientos donde había ITE en vigor⁶.

Este tema es de utilidad por la relevancia que tiene en el marco general en que se desarrolla la tesis, así como porque todas las normas ITE tienen un sistema o escala para valorar la gravedad de las deficiencias existentes en el edificio, siendo destacable que estas escalas son diferentes entre sí según a la norma ITE a que pertenezcan. En la misma línea se hace también un estudio de la situación en el extranjero respecto a norma ITE o similar, siendo también remarcable que cuando se realizó este estudio (enero de 2009 a marzo de 2011) no se encontró ningún estudio global sobre normas ITE o similar en el extranjero⁷. Una de las conclusiones de esta investigación específica es que apenas hay nada similar al concepto ITE en el extranjero.

⁵ Se utiliza el término genérico “norma” ITE, ya que en el caso de los ayuntamientos, estas normas son ordenanzas, y en el caso de comunidad autónoma, esta norma es un decreto.

⁶ Posteriormente, en julio de 2011 el Ministerio de Fomento sí realizó un estudio de la ITE a nivel de España, donde se recogen algunas características de algunas de las normas ITE. Sus datos, que van siendo actualizados, se pueden consultar a través del Observatorio ITE (www.iteweb.es).

⁷ Posteriormente, en octubre de 2012 el Col·legi d’Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d’Edificació de Barcelona (CAATEEB) sí realizó un estudio de la ITE a nivel internacional a petición del Ministerio de Fomento, donde los datos que se aportan son acordes con las conclusiones aquí presentadas.

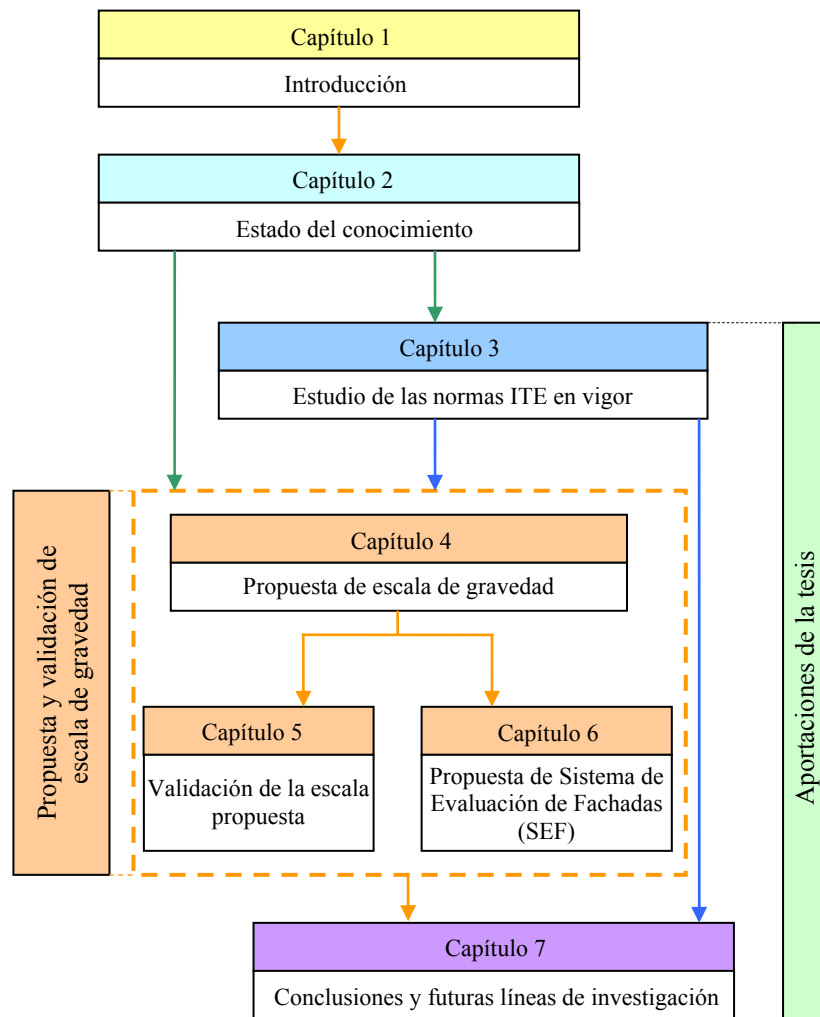


Figura 1.1. Estructura y contenido del cuerpo principal de la tesis

En el **Capítulo 4** se hace propuesta de escala de gravedad de elementos constructivos en edificios. Análogamente se propone método de cálculo para determinar el grado de gravedad del edificio, a partir de los grados de gravedad de los elementos constructivos que componen el edificio. El objeto de estas propuestas es facilitar a los técnicos la toma de decisiones y priorizar las intervenciones. El uso de una escala de gravedad, como se ha visto, es de utilidad al hacer inspección de edificios. En esta línea, como se ve en el Capítulo 3, en todas las normas ITE en vigor en España es necesario valorar la gravedad de las deficiencias existentes en los edificios.

En el **Capítulo 5** se realiza la validación de la escala propuesta en el Capítulo 4 verificando experimentalmente cómo funciona la misma. Análogamente, a través del análisis de los datos obtenidos de forma experimental y por contrastación estadística, se determina cuál es la escala idónea (cuál es el número adecuado de grados que debe tener) cuando el método de aplicación de la escala es el de asignación directa. Este es el método empleado para valorar la gravedad de elementos constructivos en numerosos estudios y en todas las normas ITE en vigor.

Como alternativa a lo desarrollado en los Capítulos 4 y 5, en el **Capítulo 6** se presenta un Sistema de Evaluación de Fachadas, que se denomina SEF. Dicha metodología se basa en el uso de indicadores medibles lo más objetivamente posible (la energía de impacto del objeto que se puede desprender y la probabilidad de desprendimiento del objeto de interés), de lo que se obtiene el grado de gravedad de zonas de una fachada de la manera más objetiva posible. La finalidad de dicho sistema SEF propuesto es reducir todo al máximo el grado de variabilidad entre decisores en el momento de valorar el grado de gravedad de una zona de fachada.

El **Capítulo 7** ofrece una perspectiva general del desarrollo de la tesis, sintetiza las conclusiones principales y se resume la aportación al conocimiento. El capítulo incluye futuras líneas de investigación, que son continuación natural del trabajo que aquí se presenta.

Para finalizar se incluyen cuatro **anexos** con el objeto de dar información adicional y profundizar en algunos aspectos desarrollados en los Capítulos 3 a 6, siendo dichos capítulos los que constituyen la aportación principal de la tesis. Se remarca la importancia de los anexos, por su relación con los capítulos antes referidos, y porque a su vez también presentan algunas aportaciones. Estos anexos y su relación con los Capítulos 3 a 6 se presentan en la *Figura 1.2*.

En la *Figura 1.2* las flechas indican la relación de los anexos con los diferentes capítulos, siendo las flechas procedentes del mismo anexo del mismo color, con objeto de facilitar la comprensión de la figura. El contenido de los diversos anexos es el siguiente:

- I. Estudio de las normas ITE en vigor. En este anexo se incluyen tablas que amplían los datos aportados en el Capítulo 3.

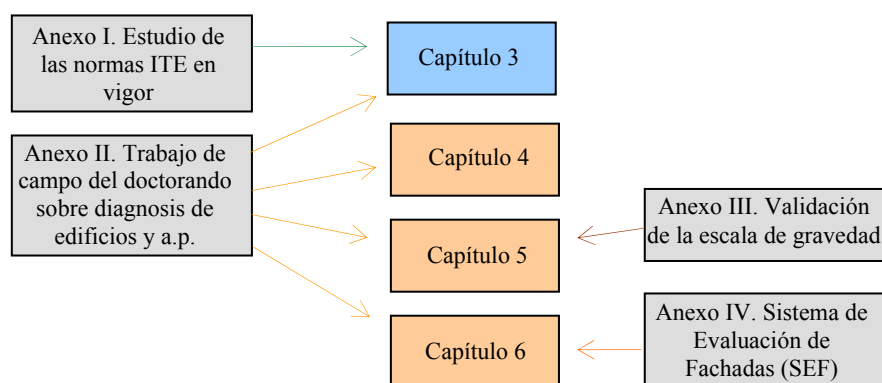


Figura 1.2. Estructura y contenido de los anexos. Relación con los Capítulos 3 a 6.

Nota: a.p.: administración pública

- II. Análisis del trabajo de campo realizado sobre diagnóstico de edificios y administración pública en materia de edificios privados en mal estado. Además de los datos y análisis de esta materia, se incluye una serie de criterios y razonamientos útiles para realizar la inspección, la diagnosis, el informe y la terapéutica de manera competente, así como análisis relacionados de interés, como

por ejemplo la investigación sobre la relación entre la fiabilidad del diagnóstico y el tiempo dedicado a la inspección o grupo de inspecciones, o la investigación del efecto del suceso desencadenante, entre otros.

- III. Validación de escala de gravedad. Incluye tablas, gráficas y cálculos de los datos recogidos en los ensayos realizados para el desarrollo del Capítulo 5.
- IV. Sistema de Evaluación de Fachadas (SEF). Incluye la aplicación del método SEF propuesto en el Capítulo 6 a siete edificios a los que el doctorando revisó sus fachadas.

1.4. METODOLOGÍA

Para realizar el estudio sobre cómo están funcionando las **normas ITE que hay en vigor en España**, la metodología se ha basado, aparte de realizar consulta bibliográfica y documental on line, en entrevistar numerosas personas e instituciones, entre las que había:

- Especialistas en materia de patología y mantenimiento de edificios
- Especialistas en Administración Local
- Responsables de departamentos ITE de ayuntamientos y CC.AA.
- Colegios Profesionales
- Universidad

Este método también ha sido utilizado para el estudio de la ITE a nivel internacional, con objeto de determinar qué países tienen algún sistema análogo a la ITE en vigor.

Para realizar propuesta de **escala de gravedad de elementos constructivos en edificios** la primera parte del método ha sido estudiar las características de escalas existentes en el ámbito general, que son comúnmente aceptadas y utilizadas, como las siguientes: Beaufort, de intensidad de viento; Douglas, sobre el estado del mar; Richter, sobre terremotos; Mohs, sobre dureza de los minerales; Norton, que mide, entre otras cosas, el riesgo de padecer úlceras de presión; Glasgow (GCS), sobre los diferentes grados del coma; EVA (escala visual analógica), sobre los diferentes grados del dolor; entre otras. En la misma línea se han estudiado diferentes escalas del ámbito de la construcción, unas de uso para valorar el estado de conservación de edificios y otras de uso para valorar el estado de conservación de puentes.

El siguiente paso ha consistido en definir las características de la escala propuesta y su forma de aplicación para valorar la gravedad de elementos constructivos en edificios. A continuación se propone método de cálculo para determinar el grado de gravedad total del edificio, a partir de los grados de gravedad de los elementos constructivos que componen el edificio. Dicho método se basa en la aplicación de diversas expresiones matemáticas y pesos que se proponen y son debidamente justificados. Finalmente, la escala y la metodología propuesta se han aplicado a un caso real de edificio inspeccionado por el doctorando, verificando que los métodos utilizados dan resultados coherentes.

Para realizar la **validación de la escala propuesta** y analizar su aplicabilidad se han realizado una serie de ensayos en los que se muestran 33 imágenes de elementos constructivos a una población de 374 técnicos, para que les asignen un grado de gravedad G a cada imagen según las definiciones genéricas de la escala propuesta, con objeto de analizar, entre otros muchos aspectos, si entre los técnicos hay alta o baja variabilidad al asignar valores de G . De los datos recogidos (12.342 valores de G asignados) se realiza un análisis estadístico, donde se analizan y relacionan diversos aspectos y se utilizan variadas técnicas matemáticas, tales como estadística descriptiva, regresión logística binaria y clustering. Como herramienta de análisis estadístico se ha utilizado el programa Minitab.

Para realizar la propuesta del **Sistema de Evaluación de Fachadas (SEF)** la metodología utilizada se compone de dos partes: gráfica y numérica. En la parte gráfica queda representada la fachada y las zonas que se delimitan de la misma, en base a las disfunciones existentes y a las características de los materiales y de los elementos constructivos que constituyen la fachada. En la parte numérica, una vez obtenidos los diferentes datos de la fachada a partir de la parte gráfica, se calculan las siguientes medidas, con el menor grado de variabilidad posible:

- Energía de impacto del objeto que se puede desprender (que depende principalmente de las variables masa del objeto y altura a la que está situado).
- Probabilidad de desprendimiento del objeto de interés. Los modelos que se proponen son resultado de aplicar técnicas de regresión lineal multivariante a los datos fruto de una encuesta a 5 expertos en materia de diagnóstico de patología de la construcción, con objeto de valorar el parámetro probabilidad de desprendimiento en 197 imágenes de zonas concretas de fachadas.

A partir de estas medidas y con funciones de valor se proponen los respectivos indicadores y, a partir de ellos, el cálculo del grado de gravedad G_j de cada zona j de la fachada.

1.5. ALCANCE

El alcance de esta tesis es todo tipo de edificio, independientemente de los siguientes aspectos: titularidad (privada o pública), uso (viviendas, sanitario, escolar, deportivo, etc.) y localización geográfica. Por tanto las conclusiones y propuestas de esta tesis tienen repercusión sobre el conjunto del parque edificado.

Algunos de los sectores para los que puede resultar de interés y aplicabilidad esta tesis son los siguientes:

- a. Los técnicos del ámbito de la construcción que deben hacer inspecciones de edificios, y deben ser capaces de valorar adecuadamente el grado de gravedad de las deficiencias existentes.
- b. La administración pública en sus diferentes niveles (estatal, autonómico, provincial, comarcal y local), por poder ser de interés el introducir una escala de gravedad que

sea común y funcione adecuadamente. En el marco más concreto de la ITE puede ser de utilidad tanto a nivel de las administraciones públicas (locales o autonómica) que ya tengan ITE en vigor, y quieran introducir sistemas de mejora en los sistemas de valoración de deficiencias, como de las administraciones públicas que no tengan ordenanza ITE en vigor y tengan previsto introducirla en breve, o incluso de las que ni tan sólo se hayan planteado el tema de la ITE.

- c. Personas sin formación técnica (propietarios e inquilinos de edificios, APIs, abogados, juristas, personal administrativo de la administración pública, etc.), pero que deben ser capaces de comprender las conclusiones de un informe sobre el diagnóstico de un edificio.
- d. A nivel internacional, a los técnicos del ámbito de la construcción, a las administraciones públicas así como a la sociedad en general, por las mismas razones expuestas en los puntos *a*, *b* y *c*.

CAPÍTULO 2

ESTADO DEL CONOCIMIENTO

2.1. INTRODUCCIÓN

En el marco de los objetivos de la presente investigación expuestos en el capítulo anterior, este capítulo recopila y analiza el estado de conocimiento de la temática en que se enmarca la tesis. En esta línea se presenta el marco general a través de revisar diferentes estudios sobre sistemas de gestión y mantenimiento de edificios que existen, donde se engloban tanto aspectos técnicos, como de tipo económico. Se estudian diferentes documentos que se han redactado respecto al mantenimiento de edificios, donde precisamente se resalta la importancia de hacer adecuado mantenimiento de los edificios, y se proponen diversas medidas que ayuden a llevarlo a cabo.

También se revisan diversos estudios para la diagnosis de áreas urbanas, para la predicción de la vida útil en elementos constructivos así como estudios de tipo matemático, basados principalmente en técnicas de análisis de supervivencia, para predecir en el tiempo cómo se degrada un edificio o una parte del mismo. A través de revisar los citados estudios se deduce que es de gran utilidad el poder cuantificar hasta qué punto las deficiencias existentes en los edificios son graves o no, con objeto de facilitar la toma de decisiones y priorizar las intervenciones terapéuticas. De hecho se han utilizado y utilizan numerosas escalas diferentes entre sí para valorar el grado de gravedad de los elementos constructivos. Pero como se ha explicado en el anterior capítulo, no existe consenso común y estas escalas son diferentes entre sí según el estudio a que pertenezcan. Los apartados donde se va a tratar la referida temática están estructurados empezando por conceptos generales, avanzando hacia aspectos más particulares. Se desarrollan a continuación y son los siguientes:

- El mantenimiento de los edificios
- Diagnóstico del estado de conservación de áreas urbanas
- Predicción de la vida útil en elementos constructivos
- Técnicas de análisis de supervivencia aplicado al mantenimiento de edificios

2.2. EL MANTENIMIENTO DE LOS EDIFICIOS

2.2.1. Conceptos de partida

La vida de los edificios, como la de un ser vivo, es limitada y durante este tiempo se encuentran sometidos a un proceso de envejecimiento desde el momento mismo de su construcción, a causa de su utilización, las condiciones ambientales, etc. La **durabilidad** se define como la capacidad de los edificios o alguna de sus partes para desenvolver el papel para el cual fueron diseñados durante un periodo específico bajo la influencia de determinados agentes (ISO 2011).

La **vida útil** de un edificio se define como el periodo de tiempo desde que se construye hasta que este o alguna de sus partes deja de ser adecuado para el uso al que está destinado (Ortega, 2012). Las propiedades de los diferentes elementos constructivos del edificio pueden determinar diferentes definiciones para el final de la vida útil (Moser, 1999), que se ilustran en la *Figura 2.1*:

- *Seguridad*: No se alcanza el final de la vida útil de un elemento mientras la integridad de esa parte del edificio se mantiene en el nivel estándar de seguridad.
- *Función*: No se alcanza el final de la vida útil de un elemento mientras la función proyectada se cumple (por ejemplo, una ventana puede ser fácilmente abierta y cerrada, etc.).
- *Aspecto*: No se alcanza el final de la vida útil de un elemento mientras se mantenga el aspecto previsto (por ejemplo, la superficie de esa parte del edificio es de apariencia aceptable, los cristales de las ventanas no se han deteriorado o se han vuelto opacos, etc.).

Enlazando con los anteriores conceptos, definimos la **rehabilitación** como el proceso mediante el cual se recupera la habitabilidad de un edificio, cuando estaba deteriorada por su estado patológico, o se cambia la misma para darle un nuevo uso (Monjo, 1998). Dentro de esta definición genérica y amplia, existen diferentes tipos de actuaciones, entre las cuales están las siguientes:

- Actuaciones de urgencia: se trata de intervenciones que hay que realizar de forma rápida, para subsanar lesiones que pueden resultar peligrosas para el uso del edificio o para dar respuesta urgente en la funcionalidad del elemento estructural (Aguado *et al.*, 2003).

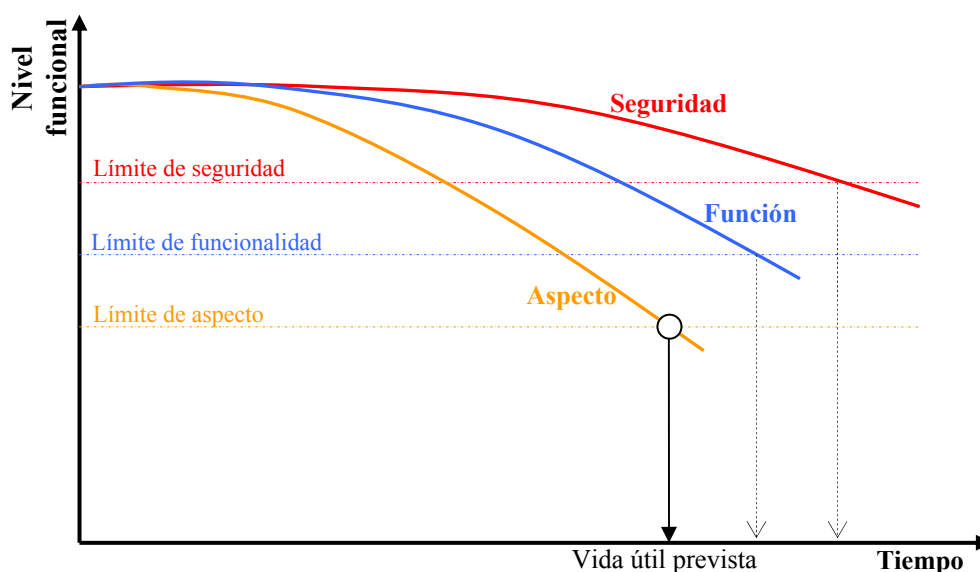


Figura 2.1. Degradación de las diferentes propiedades de un elemento constructivo
Elaboración adaptada. (Moser, 1999)

- Actuaciones de prevención y/o protección: se trata de intervenciones que tienen como objetivo dar una protección a los componentes estructurales para evitar o reducir la progresión de su proceso de degradación o protegerlos contra el fuego, atmósferas agresivas, corrosión, desgaste superficial, etc.
- Actuaciones de reparación: Cuando la degradación ha afectado al elemento estructural, debemos plantearnos una reparación de la zona afectada para recuperar sus prestaciones iniciales que sea adecuada a sus funciones estructurales.
- Actuaciones de refuerzo: Cuando nos encontramos ante errores de cálculo o ante nuevas solicitaciones que superan las inicialmente previstas para los elementos estructurales, debemos recurrir a la incorporación de nuevos componentes estructurales, mediante sistemas de refuerzo adecuados.
- Actuaciones de sustitución: cuando la incapacidad estructural resulta manifiesta y el refuerzo difícilmente aplicable, se opta por la sustitución de la estructura.

Para elegir de forma acertada qué tipo de actuación conviene y cómo llevarla a cabo, es imprescindible haber realizado previamente una buena diagnosis del edificio a través de hacer una inspección técnica, con objeto de conocer, entre otras cosas, el grado de deterioro o gravedad del elemento constructivo estudiado. Para cuantificar dicho grado de gravedad es de utilidad el uso de una escala.

Desde un punto de vista cronológico, la rehabilitación fue la forma de ver y entender las intervenciones en el patrimonio construido de nuestro país durante la década de los 80, cuando la solución se orientó hacia grandes intervenciones puntuales, que debían de permitir recuperar aquellos edificios que por su valor económico y patrimonial lo requerían, y corregir su avanzado estado de degradación, con frecuencia excesivo para su edad, causado por la negligencia continuada en su conservación. Esta situación era el

resultado de un mantenimiento inexistente o de unas acciones de reparación de los defectos, tan sólo en el momento en que eran casi irreversibles, lo que se denomina **mantenimiento correctivo** (Cabeza, 1992).

En este sentido, se puede decir que el mantenimiento de un edificio es un conjunto de trabajos periódicos (programados y no programados) que se realizan para conservarlo durante el periodo de vida útil en condiciones adecuadas para cubrir las necesidades previstas (Gajzler, 2013). Cabe decir que en nuestro país no ha habido una adecuada cultura del mantenimiento, por lo que los edificios y viviendas son, en general, desconocidos por parte de sus usuarios y propietarios, están poco conservados y no se es consciente de la importancia del mantenimiento (Casanovas, 1997).

Actualmente, el mantenimiento y la gestión de edificios está ampliando el marco de aquella visión para decantarse hacia una vertiente eminentemente preventiva, que tiene como objetivo evitar, con pequeñas intervenciones sucesivas, el envejecimiento progresivo y la degradación de sus componentes, y así obtener las máximas prestaciones durante el periodo de tiempo más largo posible, y con un coste razonable. Es por todo esto que es necesario tender hacia la cultura del mantenimiento como la única solución para disponer de edificios más seguros y confortables, y hay que introducir los términos económicos y de gestión de los edificios como la forma de optimizar los recursos que se invierten a lo largo de la vida del edificio (Miranda, 1991).

El concepto de mantenimiento ha evolucionado a lo largo del pasado siglo, de forma que en los años 20, surgió el concepto de mantenimiento planificado preventivo, cuando la industria se propuso la conveniencia de organizar el mantenimiento de acuerdo con una metodología científica.

La amplia gama de conceptos de mantenimiento existentes no es de aplicación de manera indiscriminada a todo tipo de edificio, ya que la complejidad intrínseca, las funciones a cubrir y la propia exigencia de los usuarios debe de servir para definir las características del mantenimiento y de la gestión, en cada caso. Así, se pueden plantear dos sistemas fundamentales de mantenimiento:

- a. Mantenimiento planificado o preventivo: consistente en actuaciones periódicas en un edificio con una visión preventiva, que se puede articular de acuerdo con un programa preestablecido o rutinario, o basado en una metodología predictiva que establezca el programa de acuerdo con un buen conocimiento del estado y la evolución del edificio.
- b. Mantenimiento no planificado o correctivo: consistente en actuaciones en un edificio con un objetivo puramente correctivo frente defectos constructivos que se detectan repentinamente o de averías imprevistas.

En la *Figura 2.2* (Takata et al., 2004), se pueden apreciar los diferentes tipos de operaciones de mantenimiento a lo largo de la vida útil del edificio.

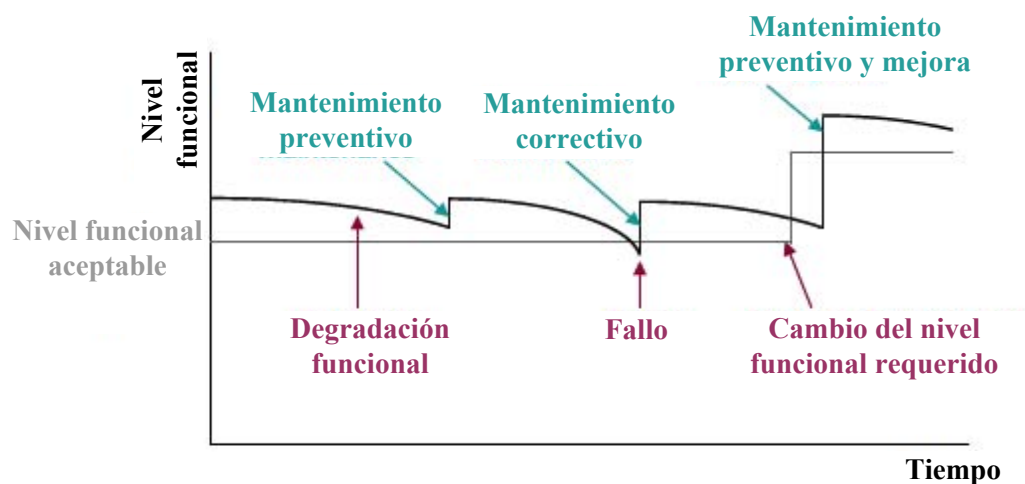


Figura 2.2. Actividades de mantenimiento (Takata et al., 2004)

Queda de manifiesto que se debe tender hacia el mantenimiento planificado o preventivo, que haga casi inexistente el mantenimiento casual o no planificado, el cual puede obligar a interrumpir el uso previsto del edificio por un periodo de tiempo indeterminado y generar otros numerosos inconvenientes. Además el mantenimiento correctivo tiene un mayor coste económico que el mantenimiento preventivo, aspecto importante a tener en cuenta.

2.2.2. Costes del edificio en su vida útil

Coste global de un edificio se define como a la suma de los gastos que este genera a lo largo de su vida, incluyendo la primera inversión, los gastos diferidos de mantenimiento y funcionamiento, y los costes indirectos de equipamientos colectivos (Thiel, 2008). En francés se conoce como *Coût global* y en inglés su nombre resulta más clarificador *Life Cycle Cost*, y queda resumido en la expresión (2.1), (Boussabaine y Kirkham, 2003):

$$C_T = C_0 + C_m + C_i \quad (2.1)$$

donde,

- C_T : coste total
- C_0 : coste inicial
- C_m : coste de mantenimiento
- C_i : coste indirecto

Dentro del coste inicial se incluyen los costes del terreno, urbanización, proyecto, construcción y tasas de impuestos, mientras que en el coste de mantenimiento se incluyen los costes de mantenimiento programado (preventivo), intervenciones no programadas (correctivo), el funcionamiento (explotación) y la limpieza. Dentro del coste indirecto se incluyen los costes de equipamientos, servicios comunitarios, intervenciones en el entorno y las contribuciones especiales en servicios colectivos.

El concepto de coste global se aplicó, en un primer momento, a equipamientos militares en EEUU, para introducirlo más adelante a la industria, y en la actualidad se aplica a edificios mediante unas auditorías estrictas en las fases de proyecto y de ejecución, que velan por la coherencia entre los parámetros durabilidad-precio y costes de construcción-costes de gestión y mantenimiento (*Service de la politique technique*, 1979).

Conseguir reducir el coste global sin disminuir la calidad de los servicios del edificio debe llevar implícito el hecho de incluir este concepto en el momento de la concepción, con la proyección de edificios con la calidad necesaria y con una vida prevista. En general, la mejor solución en coste global resulta más cara en su inversión inicial, pero permite un ahorro sustancial en un largo periodo (CEP, 1989).

Unos estudios realizados a inicios de los años 70 en el Reino Unido pusieron de manifiesto el interés generalizado por rebajar los costes iniciales de construcción de los edificios, que como se pudo comprobar, se hacía casi siempre a costa de una baja calidad de los componentes y en la ejecución. Este hecho provocó un incremento notable de los costes de mantenimiento de estos edificios en los primeros años de su vida, muy superiores al ahorro obtenido en la construcción (Croome, 1980).

Hay una reflexión clarificadora en este sentido, que responde a una larga experiencia en la construcción, el mantenimiento, la reparación y la rehabilitación de estructuras de hormigón, que se conoce como la **ley de los cinco de Sitter** (Rostman, 1992) y que hace una estimación del diferente coste que representa corregir los defectos en las diferentes etapas de la vida de la estructura de hormigón de un edificio, con el planteamiento siguiente:

- Buena práctica: 1 dólar invertido en el proyecto y la ejecución
- Mantenimiento preventivo: 5 dólares invertidos al inicio de la degradación
- Mantenimiento correctivo o reparación: 25 dólares invertidos en la propagación de la degradación
- Rehabilitación: 125 dólares invertidos para corregir daños importantes

En la línea de lo explicado se tiene que las estadísticas europeas señalan que el proyecto es el responsable del 35-45% de los problemas en construcción (Calavera, 1995).

2.2.3. Gestión de los edificios

Plantearse la gestión de un edificio en cuanto a realizar una prestación de servicios correcta y de una optimización de los costes de funcionamiento, mantenimiento y mejora, presenta un grado de complejidad variable según sus características intrínsecas y las exigencias del usuario. Para ilustrar este concepto establecemos una selección de tres tipos de edificios como son edificio unifamiliar, edificio plurifamiliar con 40 viviendas, y gran hospital, estando ordenados de manera creciente en base al grado de complejidad de su gestión, siendo en esta selección el menos complejo de gestionar el edificio unifamiliar y el

más complejo el gran hotel. Cabe decir también que a mayor complejidad de la gestión, más necesaria es la intervención de profesionales cualificados.

El mantenimiento y la gestión de un edificio, desde una óptica de **técnico de cabecera**, requiere disponer de unos conocimientos básicos sobre sus características constructivas y organizar un programa de operaciones, apoyado por una valoración de las vidas útiles previsibles para los diferentes componentes y para unas **inspecciones periódicas** que permitan controlar su evolución. El técnico de cabecera es el profesional que, por encargo de la comunidad de propietarios, se preocupa por la conservación y el mantenimiento de la casa y la calidad de la construcción, alarga la vida del edificio y asegura la calidad de vida de sus ocupantes. Es como el médico que interviene en mantener la salud de una vivienda (www.tenicodecabecera.cat)⁸.

Los edificios necesitan un mantenimiento y control a lo largo de su vida y con el paso del tiempo se deben realizar operaciones de rehabilitación. Muchos edificios requieren, además, una puesta al día en cuanto a sus instalaciones, condiciones de accesibilidad y confort. En este sentido, es necesaria la ayuda de un técnico de cabecera conocedor del edificio, que guíe las operaciones que hay que hacer en cada momento para asegurar el correcto mantenimiento y adecuar el edificio a la legislación vigente.

En el caso de edificios públicos, comerciales o de servicios, el tema puede resultar más complejo, con la exigencia de la incorporación de controles, en términos de costes, fiabilidad, seguridad, confort en el trabajo, imagen pública y muchos otros. Es justamente para dar respuesta a este último caso que se ha introducido la figura del **Facility manager**, como agente que va más allá de los servicios de mantenimiento o de los servicios técnicos de un edificio, para integrarse plenamente en las funciones y la evolución del edificio y que tiene como misión adaptarlo a las necesidades de cada momento.

En negocios, *facility management* (o *facilities management*) es la gestión de los edificios y sus servicios. Los servicios suelen dividirse en *hard services* y *soft services*. Los primeros incluyen tareas como asegurarse de que el aire acondicionado de un edificio funcione de forma eficaz, fiable, segura y legal. En los *soft services* encontramos actividades como asegurarse de que se haga la limpieza del edificio de forma regular, o controlar el trabajo de los contratistas (por ejemplo, constructores, electricistas). El término *facility management* es similar al de 'gestión de propiedad', pero a menudo se aplica solamente a grandes propiedades o propiedades comerciales en las que la gestión y el funcionamiento es más complejo (GEFMA, 2005). Algunos de estos aspectos se pueden mantener con los programas informáticos de gestión de datos avanzada.

Según la normativa Europea en Facility Management 15221/1, el Facility Management se define como "la gestión de inmuebles y servicios soporte". Todas las organizaciones, públicas o privadas, utilizan inmuebles, activos y servicios asociados a los mismos, para apoyar sus actividades principales; a través de la coordinación de estos activos y servicios, utilizando su experiencia en gestión e introduciendo cambios en los ámbitos de la organización. El Facility Manager presta su experiencia para actuar de una manera dinámica y cumplir con todos los requisitos. Esta gestión se realiza igualmente

⁸ Dicha web forma parte de la página web del CAATEEB (Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona).

para optimizar los costes y el funcionamiento tanto de los inmuebles como de los servicios (GEMFA, 2009).

Las tendencias actuales llevan el concepto del Facility Management más allá, desligándolo del edificio y alcanzando lo que recibe el nombre de **gestión de infraestructuras**, donde no sólo se gestiona el edificio sino todo aquello que está dentro de él, incluso infraestructuras que no forman parte de ningún edificio. Los distintos conceptos de aplicación en el mundo del Facility Management pueden trasladarse a múltiples entornos sin que necesariamente se ubiquen en un complejo o edificio. Así encontramos infraestructuras como parques, carreteras, áreas abiertas y un gran número de espacios que pueden requerir una buena gestión de mantenimiento preventivo, operativo, control de la capacidad y todas aquellas unidades susceptibles de ofrecer un servicio. La evolución de los sistemas de Facility Management (FM) es la evolución hacia los denominados sistemas de Infrastructure Management (IM), abriendo así la capacidad de gestión a toda la variedad de elementos y activos que se puedan disponer.

Sea cual sea la necesidad y las exigencias de mantenimiento de un edificio, este está directamente vinculado a la toma de decisiones, variable según las características de la propiedad y la tipología edificatoria, que son factores fundamentales en la definición del tipo de gestión que hay que realizar en un edificio, ya se trate de edificios de servicios (de propiedad pública o privada), edificios industriales, edificios de viviendas (de propiedad pública o privada). Una buena gestión debe prever:

- Exigencias del usuario respecto al edificio
- Sistema de mantenimiento a adoptar
- Planificar a medio y largo plazo los trabajos a realizar, para estudiar sistemas de financiamiento.
- Establecer contratos de mantenimiento con empresas capacitadas y de garantía
- Adaptar los planes iniciales a la evolución del edificio, de acuerdo con sus propias variaciones y al mantenimiento realizado

Los aspectos que siempre pasarán por una definición inicial por parte del propietario o usuario son los servicios que espera que ofrezca el edificio y el coste que está dispuesto a invertir para conseguirlo.

Una vez se disponga de esta definición, son los técnicos especializados en este campo los que, con una visión de conjunto indispensable, deben elaborar propuestas de programación, seguimiento y control, de acuerdo con un buen conocimiento del edificio y unas inspecciones periódicas (Associations Apogée, 1993).

El mantenimiento de un edificio corresponde, en primer lugar, al usuario, sea propietario o inquilino, con una buena utilización de los diferentes componentes interiores y exteriores de su vivienda, con la limpieza, tareas de conservación habituales y la información sobre todos los defectos o alteraciones que se observen en el edificio. La comunidad, en la figura del presidente o de otras personas en que se decida delegar estas tareas, deben cumplir la misma función para los elementos comunes del edificio.

Los operarios especializados en cada ámbito deben intervenir en las operaciones programadas y en la reparación de disfunciones no previsibles, que por sus características requieran este personal cualificado. Por otro lado, en esta diversificación de tareas se encuentra al técnico, que debe jugar un papel de gestor-coordinador, y que con una visión amplia y compleja del edificio debe realizar las inspecciones periódicas, la diagnosis de los problemas concretos y la programación y coordinación de todas las operaciones que haya que realizar en la totalidad del edificio, con la ayuda de la información ordenada que el edificio va generando (Uzarski *et al.*, 2007).

En esta línea, en España el Código Técnico de la Edificación (CTE) en su Art. 8.2 establece con respecto al uso y conservación del edificio:

- El edificio y sus instalaciones se utilizarán adecuadamente de conformidad con las instrucciones de uso, absteniéndose de hacer un uso incompatible con el previsto. Los propietarios y los usuarios pondrán en conocimiento de los responsables del mantenimiento cualquier anomalía que se observe en el funcionamiento normal del edificio.
- El edificio debe conservarse en buen estado mediante un adecuado mantenimiento. Esto supondrá la realización de las siguientes acciones:
 - Llevar a cabo el Plan de mantenimiento del edificio, encargando al técnico competente las operaciones programadas para el mantenimiento del mismo y de sus instalaciones.
 - Realizar las inspecciones reglamentariamente establecidas y conservar su correspondiente documentación.
 - Documentar, a lo largo de la vida útil del edificio, todas las intervenciones, ya sean de reparación, reforma o rehabilitación realizadas sobre el mismo, consignándolas en el Libro del Edificio”

2.2.4. Las inspecciones periódicas

Tal como se ha puesto de manifiesto, una de las fases fundamentales en el proceso de gestión y mantenimiento de un edificio es la inspección técnica, imprescindible para obtener la información necesaria que pide cualquier intervención en un edificio existente. Es a partir de un buen conocimiento del edificio o del patrimonio objeto de la gestión que se pueden definir necesidades y programar las operaciones a realizar. Este conocimiento se reflejará normalmente en un inventario o carnet de identidad, con la ordenación de una serie de datos, tanto de carácter administrativo, como de carácter técnico o gráfico.

En la gestión del mantenimiento, las **inspecciones periódicas** son básicas para establecer un plan de mantenimiento (mantenimiento preventivo) y para mejorar las estimaciones de la duración de la vida (vida útil), haciendo las correcciones oportunas, de acuerdo con los datos obtenidos en estas inspecciones. Lo que es importante en este tipo de inspección es establecer previamente los objetivos para proceder a orientar y dimensionar el trabajo y definir de forma clara las informaciones que hay que obtener, según las características del edificio analizado y de los objetivos de mantenimiento a realizar (Tiveron, 1990).

Para hacer más fácil este proceso, para incrementar su eficacia y para que la visita de inspección sea lo más objetiva posible hay una serie de *check-lists* que permiten una aproximación objetiva y sistemática al edificio. Actualmente hay una amplia oferta de *check-lists*, que suelen tener una forma de recogida de información sistematizada en fichas, más o menos complejas, según los objetivos que se proponen.

Las fichas del Manual de mantenimiento y reparación de cubiertas son el *check-list* de la *National Roofing Contractors Association* (NRCA) y del *Asphalt Roofing Manufacturers Association* (ARMA) y presentan una especialización parecida para la inspección de cubiertas. En este caso el planteamiento resulta muy pragmático, con la indicación de las zonas a inspeccionar y los defectos a localizar, y la ficha se complementa con fotografías y planos para la descripción y localización de los daños.

Desde una visión más global están las fichas que forman parte del *Carnet d'Entretien d'Immeuble*⁹, preparado por *l'Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat* (ANAH), las cuales tienen como objetivo recoger una serie de datos importantes sobre un edificio y tener una guía para la inspección. Una idea simplificada es la ficha del *Meko* que, en una visión muy pragmática, plantea cuatro opciones posibles (Perret, 1995):

- 1.- está bien
- 2.- ver notas al margen
- 3.- es necesario hacer diagnóstico
- 4.- es necesario reparar

Análogamente en la *Guide de la maintenance des batiments* de Francia, las opciones posibles son (Associations Apogée-Qualité Construction, 1989):

- 1.- visita
- 2.- intervención ligera
- 3.- mantenimiento preventivo/averías
- 4.- intervención pesada
- 5.- sustitución

En estos dos sistemas referidos queda de manifiesto la necesidad de poder clasificar, mediante escalas, las deficiencias existentes en el edificio, con objeto de facilitar la toma de decisiones y priorizar las intervenciones. También queda reflejado que las escalas de gravedad utilizadas son diferentes entre si.

2.2.5. Manifiestos existentes sobre mantenimiento y rehabilitación

A lo largo del siglo XX, a nivel internacional, se han elaborado diversos documentos relacionados con el mantenimiento y la rehabilitación de los edificios, entre los que cabe destacar la Carta del Restauro 72, que concreta de manera minuciosa las diversas técnicas de restauración, recomendando el mantenimiento continuo de los inmuebles. Análogamente destacar la Declaración de Ámsterdam de 1975, que recoge

⁹ Su contenido queda fijado en el decreto n°2001-477 del 30 de mayo de 2001, en Francia.

todos los criterios de la Carta Europea del Patrimonio Arquitectónico del mismo año y que decía que el legislador deberá tomar las disposiciones necesarias a fin de:

1. Redistribuir de una manera equilibrada los créditos presupuestarios reservados al desarrollo urbano destinados a la rehabilitación y a la construcción.
2. Conceder a los ciudadanos que decidan rehabilitar un edificio antiguo, ventajas financieras equivalentes, al menos, a aquellas de las que gozarían para una construcción nueva.
3. Revisar en función de la nueva política de conservación integral, el régimen de ayudas financieras del Estado y otros poderes públicos.

Las obligaciones de los poderes públicos así serían:

- Mantener actualizada una legislación protectora y fomentadora de la conservación y mantenimiento de edificios.
- Promocionar, conservar y mantener los edificios de los entes públicos con el mismo o mayor cuidado que el que se exige a los particulares, adoptando una actitud ejemplar que sirva de modelo a la sociedad.
- Fomentar con ayudas, subvenciones e incluso un régimen fiscal favorable, la inversión en conservación y mantenimiento de edificios desarrollando una política de fomento del deber de conservación y mantenimiento de los edificios.

Una de las referencias europeas respecto al mantenimiento es la Carta del Mantenimiento de 1992, donde diferentes organismos, instituciones y empresas asumían un elevado compromiso en la promoción y normalización del mantenimiento desde su área de actividad. Entre otras cosas en esta Carta se decía que:

“la gestión y el mantenimiento adecuado de los edificios constituye hoy una necesidad, ya sea para la empresa, la Administración o el propietario particular. La construcción, pero también la utilización, la explotación y el mantenimiento son aspectos que hay que introducir dentro del concepto de coste global de un edificio”.

Un buen mantenimiento y una correcta gestión de edificios permite asegurar con garantías la supervivencia del patrimonio inmobiliario, permite racionalizar y optimizar los costes de explotación, a la vez que ayuda a proteger el medio ambiente al reducir los posibles factores contaminantes.”

Mucho más reciente es el *Manifest-El Repte de la Rehabilitació*, firmado el 23 de abril de 2009 en Cataluña por, entre otras, instituciones como el Colegio de Aparejadores, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación de Barcelona, el Colegio de Arquitectos de Cataluña, el Colegio de Administradores de Fincas y la Cámara Oficial de Contratistas de Obras de Cataluña. Entre otras cosas se dice que:

“la rehabilitación y el mantenimiento deben ser piezas clave y prioritarias de la política de vivienda a corto y medio plazo y ni en Cataluña ni en el Estado español, hasta hoy, lo han sido. Es por este motivo que las entidades firmantes han decidido preparar el presente Manifiesto y hacer conocer a las autoridades nuestra inquietud y la gran preocupación social por el alejamiento existente entre las necesidades de la población y las políticas públicas de vivienda”.

Para corregir esta situación en este Manifiesto se proponen diez medidas, entre las que destacamos:

- **Incrementar la formación especializada** de los profesionales (aparejadores (o arquitectos técnicos o ingenieros de edificación), arquitectos, administradores, API's, etc.).
- **Impulsar la investigación** aplicada en el campo de la rehabilitación y el mantenimiento.
- Articular un conjunto de **medidas financieras y fiscales** con el objetivo de dinamizar el sector de la rehabilitación y el mantenimiento.
- Incidir en la **sensibilización** y en la **concienciación social** de la importancia de mantener las viviendas y de incorporar mejoras en sus prestaciones, como mejor camino para incrementar la calidad de vida de los habitantes
- La **inspección técnica de los edificios** y las **campañas de sensibilización** pueden ayudar notablemente a que los ciudadanos sean conscientes de las posibilidades y limitaciones de sus edificios.

Igualmente se incluyen 17 interesantes consideraciones y reflexiones respecto al reto de la rehabilitación. En particular se indica que si se hace un comparativo entre la situación del subsector de la rehabilitación entre el global de Europa y de España, resulta que en muchos países europeos el peso de la rehabilitación residencial ha superado claramente al de obra nueva, mientras que en España se estaba por debajo del 10% en los años 80 y nunca se ha superado el 25% de rehabilitación respecto a la obra nueva.

Se podría atribuir esta gran diferencia a la modernidad relativa de nuestro parque edificado, pero nada más lejos de la realidad, ya que la edad del parque es similar, incluso más joven en algunos países europeos. Cerca de la mitad de las viviendas catalanas, más de un millón, se construyeron antes de 1970, es decir, ya tienen cuarenta años de antigüedad o más, y muchos de ellos son centenarios. Muchos de ellos requieren hoy mejoras estructurales, funcionales, de habitabilidad, de confort, de accesibilidad, de eficiencia energética, etc.

El Manifiesto indica que las principales causas de esta gran diferencia entre Europa y España respecto a la rehabilitación y el mantenimiento responden principalmente a una política inadecuada y una falta de concienciación por parte de la sociedad. Igualmente se remarca que la realización de un buen mantenimiento de los edificios siempre es una gran

inversión, ya que permite que estos den las mejores prestaciones a sus usuarios, los hace más eficientes, alarga su vida útil y se ahorra dinero.

2.3. DIAGNOSIS DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE ÁREAS URBANAS

En ocasiones el objeto a diagnosticar y a mantener no es un edificio, como hasta ahora, sino que es toda un área urbana que engloba un determinado número de edificios. En esta sección se explica cómo se interviene en áreas urbanas, lo que resulta de utilidad para dar más consistencia al estado del conocimiento y para resaltar el interés que tiene el uso de escala para valorar el grado de gravedad.

El método de exposición se basa en el estudio de tres casos reales de diagnóstico de áreas urbanas. El orden de exposición de estos casos seleccionados, con notables similitudes conceptuales entre sí, es según el orden cronológico en que fueron realizados. Los casos de estudio explicados ponen de manifiesto a) que es necesario también realizar diagnóstico del estado de conservación de áreas urbanas, b) para realizar estos estudios es necesario disponer de un método para valorar el grado de gravedad de los edificios y c) se puede observar que en los tres casos explicados, las escalas de gravedad utilizadas son diferentes entre sí.

2.3.1. Estudio del Ensanche de Barcelona

Una de las primeras referencias de las que se tiene constancia sobre inspecciones de grandes áreas urbanas es el estudio “*Pla pilot de l'estat de les façanes en edificis de l'Eixample de Barcelona*” (Jordana y Gibert, 1999). En dicho estudio, el Presidente de ProEixample, el Sr. Xavier Casas i Masjoan, expresaba la necesidad de establecer estudios de esta parte de la ciudad de Barcelona debido al envejecimiento de sus edificios, conjuntamente con el de su población.

El objetivo del proyecto consistía en detectar y eliminar riesgos inminentes de desprendimiento, identificar otros tipos de lesiones con su magnitud y gravedad, y determinar si se podía considerar el fenómeno de la edad del edificio como un parámetro determinante de las disfunciones halladas en las fachadas. Para llevar a cabo el estudio, se analizaron un total de 250 fachadas de Barcelona, distribuidas según los períodos constructivos representados en el distrito del Ensanche (Gibert *et al.*, 2010).

La recogida de los datos se realizó mediante fichas que aportaron información sobre cinco tipos de actuaciones clasificadas como:

- Inmediatas: en las que se requiere una eliminación del riesgo.
- A corto plazo: en las que se ha de intervenir antes de un año.
- A medio plazo: donde la intervención se ha de planificar entre uno y cinco años
- A largo plazo: actuación entre cinco y diez años.
- Mantenimiento: en donde se han de establecer los requisitos necesarios para evitar degradaciones prematuras.

El método descrito es equivalente al uso de una escala de 5 valores. A partir de una metodología descriptiva, dentro del proyecto se llegaron a las siguientes conclusiones:

- El grado de conservación y de lesión no dependen exclusivamente de la edad del edificio.
- Los elementos que muestran mayor degradación son los que sobresalen del plano de fachada.
- Los edificios del pre-modernismo, post-modernismo y modernismo muestran más lesiones en los acabados continuos que en los discontinuos.
- La muestra analizada se considera insuficiente para emprender otros estudios encaminados a la determinación de la durabilidad.
- Esta experiencia sirve de modelo para seguir experimentando.

El trabajo referido introduce una metodología de inspección en grandes áreas urbanas, que resulta rápida y eficaz para la prospección y la toma de datos. Ello es capaz de mostrar una realidad del estado en el que se encuentran las fachadas fundamentado en la situación, el tipo de lesión, su magnitud y, por último, su gravedad.

2.3.2. Estudio del casco antiguo de Vilanova i la Geltrú (Barcelona)

Este estudio forma parte del trabajo de campo del doctorando, ya que fue diseñado y dirigido por el mismo en calidad de técnico municipal. El objeto del estudio era valorar el grado de deterioro de 680 fachadas de una parte del casco antiguo de Vilanova i la Geltrú (Barcelona) y en base a los datos obtenidos, priorizar las intervenciones necesarias, analizando las relaciones entre los diferentes parámetros estudiados. La ciudad de Vilanova i la Geltrú, situada en la costa, tiene 67.000 habitantes, habiéndose realizado el estudio dos veces, una en el año 2000 y otra el año 2005. Esto ha permitido también realizar el análisis de la evolución del estado de las fachadas en dicho periodo 2000-2005 (Ruiz, 2005).

Los técnicos que intervinieron en las inspecciones tuvieron el mismo director (en este caso el doctorando), de manera que el grado de variabilidad entre los mismos a la hora de valorar la gravedad de las fachadas fuera lo menor posible, y que dicha valoración fuera lo más acertada posible. Con objeto de valorar la gravedad de las fachadas, se diseñó una escala de 6 valores que se presenta en la *Tabla 2.1*. En la misma el grado de gravedad se designa *G*.

De cada edificio se realizaba una ficha, donde se introducían los datos principales del edificio y sobre su estado de conservación, y donde se incluían las fotos representativas del edificio y de posibles degradaciones que pudiera tener en fachada. Todos los datos estaban vinculados al programa Excel, de manera que con facilidad se realizaban estadísticas y gráficos de múltiples aspectos, lo que facilitaba el análisis de los datos recogidos y el establecimiento de conclusiones y pautas de intervención. Cabe decir que a este estudio de detalle y transversal se le denominaba **radiografía** del núcleo antiguo.

G	Definición
0	No hay degradaciones relevantes. Edificio en buen estado.
1	Degradaciones muy leves, de tipo local y superficial. No hay ningún riesgo para la estabilidad ni de desprendimientos.
2	Degradaciones leves. Se pueden apreciar grietas y deterioros superficiales del revestimiento. Recomendable realizar revisión de mantenimiento a medio plazo.
3	Degradaciones moderadas, de cierta entidad. Puede haber cierto riesgo de desprendimientos, en general de poca importancia. Puede haber algunas lesiones estructurales en el interior del edificio, en general no graves. Requiere revisión del edificio a medio plazo. Son recomendables tratamientos terapéuticos de poca consideración.
4	Degradaciones graves. Se aprecian zonas sin revestimiento y fracturas en la fachada. Hay riesgo de desprendimientos de cierta entidad. En el interior del edificio puede haber lesiones estructurales graves. Requiere revisión exhaustiva del edificio en breve plazo. Son necesarios tratamientos terapéuticos de consideración.
5	Degradaciones muy graves. Graves patologías en fachada y probablemente graves lesiones estructurales en el interior del edificio. Riesgo de desprendimientos de consideración e incluso de colapsos parciales. Requiere revisión exhaustiva del edificio de forma inmediata. Son necesarios tratamientos terapéuticos de gran envergadura. Debido a la muy grave degradación del edificio, una opción recomendable es la sustitución del edificio, mediante derribo y posterior obra de nueva planta.

Tabla 2.1. Escala de gravedad de fachadas en el estudio en Vilanova i la Geltrú

Análogamente, a cada valor de G se le asignaba un color, de manera que uno de los resultados del estudio era un mapa cromático, donde cada finca tenía el color que le correspondía en función del valor de G que le hubiera sido asignado. Esta metodología era muy visual, permitiendo apreciar fácilmente qué zonas eran las más degradadas. A modo de ilustración, en la *Figura 2.3* se presenta el plano sobre el estado de conservación de las fachadas en la zona de estudio.

Además del mapa presentado, había otros numerosos mapas cromáticos sobre aspectos diversos (edificios donde se había pedido permiso de obras en el periodo 2000-2005, aplicando un color diferente a cada año; edificios catalogados; altura y profundidad edificable según el Plan General, etc.).

Para valorar con un escalár la evolución en el periodo 2000-2005, se utilizó el coeficiente de evolución (C_{ev}), que se define mediante la expresión (2.2).

$$C_{ev} = \frac{G_{2005}}{G_{2000}} \quad (2.2)$$

donde,

- C_{ev} = coeficiente de evolución entre los valores de G . Representa la evolución del estado de la fachada en el periodo 2000-2005
- G_{2000} = grado de gravedad de la fachada correspondiente al año 2000



Figura 2.3. Distribución del grado de degradación del núcleo antiguo de Vilanova i la Geltrú

- G_{2005} = grado de gravedad de la fachada correspondiente al año 2005

De la expresión (2.2) se deduce de forma elemental lo siguiente:

- Si $C_{ev} > 1$ significa que el estado de la fachada empeora en el intervalo 2000-2005
- Si $C_{ev} < 1$ significa que el estado de la fachada mejora en el intervalo 2000-2005 (porque se ha realizado rehabilitación, o se ha derribado el edificio y se ha construido uno nuevo, etc.)
- Si $C_{ev} = 1$ significa que el estado de la fachada no varía en el intervalo 2000-2005

2.3.3. Estudio del centro histórico de La Habana

Este estudio se está realizando recientemente en Cuba, en el marco del Plan Maestro de Revitalización Integral del Centro Histórico de La Habana, siendo de especial utilidad y necesidad, dado el muy elevado grado de degradación del Centro Histórico de La Habana, y su alto valor histórico y arquitectónico, que además tiene protección como Patrimonio de la Humanidad. Esta zona de estudio abarca una superficie de 2,1 km², en la que hay 3.510 edificios (22.263 viviendas) y 67.000 habitantes (Piñero, 2013).

El estado de conservación de los edificios se clasifica en base a una escala de 4 grados (bueno, regular, malo y pésimo). De forma análoga a lo explicado en el anterior

apartado a cada grado se le asigna un color obteniéndose así también un mapa cromático, que se presenta en la *Figura 2.4*, y de cada edificio se realiza una ficha donde se introducen los datos principales del edificio y sobre su estado de conservación. En semejanza al apartado anterior, además del mapa presentado, había otros numerosos mapas cromáticos sobre otros aspectos (tipos de estructuras, tipos de cerramientos, tipos de cubiertas, etc.).

Sobre el trabajo de campo referido se aplica el modelo MIVES (Modelo Integrado de Valor para una Evaluación Sostenible), método de toma de decisión multicriterio de aplicación en multitud de campos del conocimiento. El concepto MIVES (Losada *et al.*, 2008; San José y Josa, 2008; San José y Garrucho, 2010; Gómez *et al.*, 2012) es una metodología genérica para la evaluación de la sostenibilidad (inicialmente en sistemas constructivos), que ha sido desarrollada por investigadores de la Universidad Politécnica de Cataluña, de la Universidad del País Vasco, de la Universidad de La Coruña y TECNALIA R&D, bajo la coordinación del profesor Antonio Aguado.

En dicho modelo se define un árbol de requerimientos, que consiste en un esquema jerárquico en el que se definen, de manera estructurada, las diferentes características del aspecto a evaluar. Habitualmente se establecen tres niveles (Aguado *et al.*, 2006): requerimientos, criterios e indicadores. En los primeros niveles se encuentran los aspectos más cualitativos y generales, denominados requerimientos. En los niveles intermedios de la ramificación se encuentran los criterios (a veces también subcriterios), y en los últimos niveles de la ramificación se encuentran los aspectos más concretos y que van a ser evaluados directamente: los indicadores.

En este caso concreto de estudio del Centro Histórico de La Habana se definen en total 19 indicadores, 13 de los cuales pertenecen al que se denomina requerimiento técnico, y 6 que pertenecen al que se denomina requerimiento sociocultural (Piñero, 2013). A partir de estos indicadores, y aplicándoles las correspondientes funciones de valor, se obtiene para cada edificio el que se denomina Índice de Priorización Sostenible (IPS), con $IPS \in [0,1]$, lo que facilita la toma de decisión para priorizar las intervenciones.

2.4. PREDICCIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

2.4.1. Introducción

Ya ha quedado de relieve la importancia que tienen los conceptos de durabilidad y vida útil de los edificios. A esto cabe añadir que en los últimos años se ha percibido un aumento en el interés por determinar la durabilidad y la vida útil de los elementos constructivos de los edificios, así como de sus materiales y componentes (Andrade, 2007). Este interés está justificado tanto por cuestiones económicas como medioambientales (Moser, 2004; Hodve, 2004). Entre las cuestiones económicas se encuentran las siguientes:

- Durante la segunda mitad del siglo XX hubo una intensa actividad en el sector de la construcción, por ello hoy, ya en el siglo XXI, los edificios existentes, entendidos como capital inmobiliario, representan una cantidad importante del capital nacional de los países.

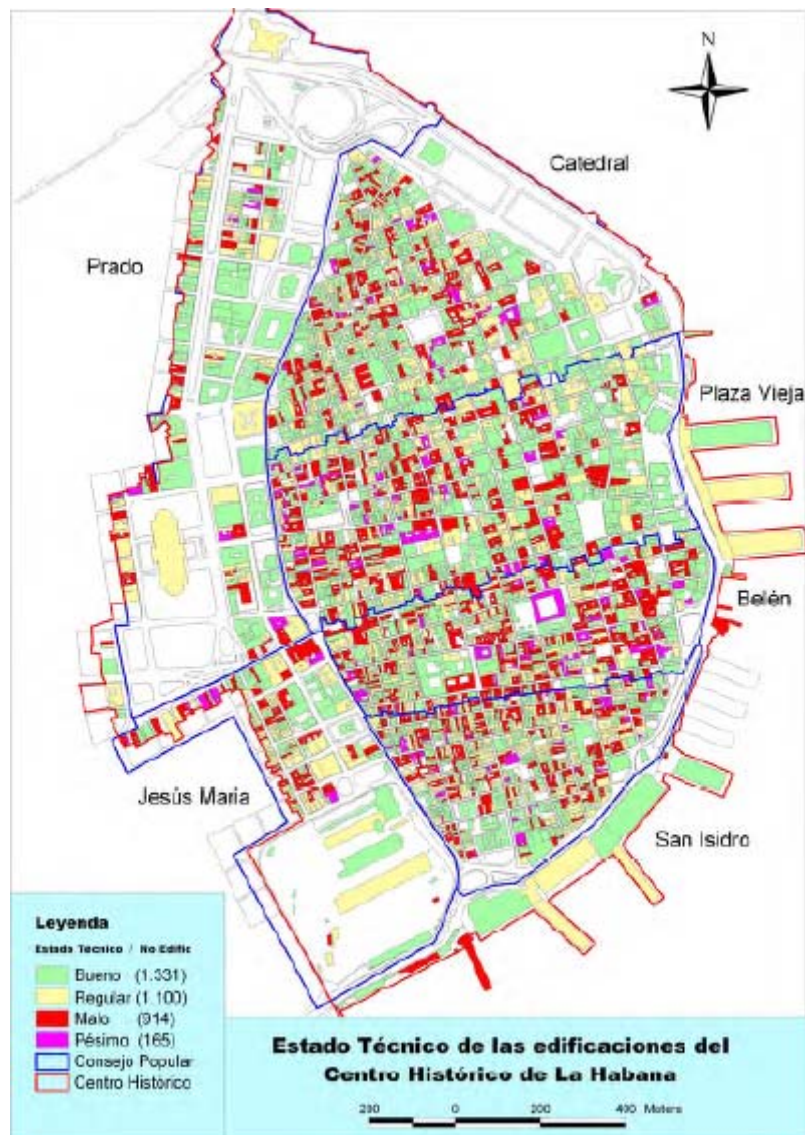


Figura 2.4. Estado Técnico de las edificaciones del centro Histórico de la Habana (Piñero, 2013)

- Los costes anuales de inspección y mantenimiento de un edificio son importantes ya sea para la economía de un país, o el mantenimiento de la competitividad de una industria o empresa.

Respecto a las cuestiones medioambientales destacan las siguientes:

- La escasez de recursos materiales y energéticos.
- El impacto medioambiental causado por los edificios.

La durabilidad está directamente relacionada con la búsqueda del desarrollo sostenible, tema de plena actualidad y en el que se están invirtiendo muchos esfuerzos a

nivel internacional (Ortega, 2012). En Europa se ha demostrado que el sector de la construcción ha sido el responsable aproximadamente de:

- El 40% del material de consumo.
- El 40% del consumo de energía.
- El 40% de los depósitos en los vertederos.
- El 35% de las emisiones de gases efecto invernadero.

Los datos expuestos¹⁰ resaltan la importancia que tiene en términos globales el realizar una adecuada política y gestión en materia de edificios existentes, para lo cual ya se ha visto la necesidad de hacer inspecciones técnicas y el uso de escala para valorar el grado de gravedad de elementos constructivos.

2.4.2. Método para la predicción de la vida de servicio de los materiales de construcción

Gibert y Royano (2010) analizan con detalle aspectos metodológicos sobre estimación de durabilidad en edificación existente y, en particular, el estado del arte sobre predicción de vida útil, desarrollo de un modelo de ciclo de vida en construcción e introducen técnicas de análisis de supervivencia. Su trabajo es la base de lo que se expone en los siguientes apartados.

Uno de los primeros enfoques estadísticos para la predicción de la vida de servicio de los materiales de construcción es el denominado MEDIC¹¹, como método de evaluación de escenarios de probables degradaciones para predecir el estado futuro de la degradación del edificio (Flourentzou *et al.*, 2000).

La predicción se basa en la combinación de la probabilidad a priori basada en la experiencia de un gran número de investigaciones anteriores y el estado actual del elemento objeto de estudio. El método se aplica para cada elemento considerado en el proyecto europeo de deterioro de los materiales de construcción y componentes EPIQR¹².

El conocimiento de la posible vida útil residual de un elemento de construcción a menudo será decisivo para saber si será reemplazado o no, ya que posiblemente sea necesario realizar un análisis de costos para evaluar la viabilidad de la sustitución puntual de un elemento versus la intervención global sobre el conjunto de elementos que conforman un sistema constructivo.

¹⁰ Los porcentajes relativos al sector de la construcción en Europa son datos aportados por la Plataforma Tecnológica Española de la Construcción (www.construccion200.org) en el documento “Visión estratégica 2025” (Plataforma Tecnológica de la Construcción 2010).

¹¹ Las siglas MEDIC provienen de la denominación en francés “*méthode d’évaluation de scénarios de dégradation probables d’investissements correspondants*” (Flourentzou *et al.*, 2000).

¹² Las siglas EPIQR (pronunciado Epikur) provienen de la denominación en inglés “*energy performance, the indoor environment quality and the analysis of refurbishment cost of multi-family buildings*”, (Brand, 1999)

En consecuencia, es de suma importancia desarrollar un modelo que pueda estimar la evolución probable de deterioro de todos los elementos y que permita evaluar los gastos de rehabilitación de todo el edificio y planificar las acciones futuras de reformas, ya que la evolución del coste de rehabilitación global del edificio es una información valiosa para la planificación de inversiones.

Para llevar a cabo esta investigación, los autores se han basado en un trabajo teórico que describe las funciones para la descripción del desarrollo de cada estado de degradación y en un trabajo práctico realizado por la Oficina Federal Suiza de Política Económica en el marco del programa PI BAT, en que se desarrolla un método de estimación de presupuestos de inversiones (MEBI), (Gibert y Royano, 2010).

MEBI basa sus predicciones en una encuesta a gran escala entre 30 expertos en el sector de la construcción sobre 120 edificios, y es capaz de calcular el tiempo de vida residual de 50 elementos de construcción diferentes para evaluar la evolución del presupuesto de inversión de remodelación con la condición de que no se lleven a cabo obras de rehabilitación mientras tanto.

El método desarrollado está diseñado para utilizarse con EPIQR y se basa en la subdivisión del edificio en 50 elementos, y en la descripción del estado de deterioro cualitativo de los mismos mediante los códigos a, b, c y d, descritos a continuación:

- a: buen estado
- b: deterioro cognitivo leve
- c: deterioro grave
- d: debe ser sustituido

Nuevamente queda de relieve la necesidad de utilizar escala para clasificar el grado de gravedad de elementos constructivos (en este caso se utiliza una escala de 4 grados). La base de conocimiento de dicho método se resume en cuatro curvas de probabilidad para cada elemento del edificio. MEDIC calcula, por tanto, el tiempo restante de un elemento de construcción como una distribución de probabilidad. En la *Figura 2.5* se muestran las curvas correspondientes al elemento “revestimiento” de la fachada del edificio.

En la *Figura 2.6* están representadas las diferentes probabilidades de deterioro del revestimiento en una curva acumulativa, en la que la suma de las probabilidades ($P(a) + P(b) + P(c) + P(d)$) es igual a 1 en cada instante. $P(a)$ representa la probabilidad que tiene el revestimiento de pertenecer al código “a” (buen estado), y análogamente para $P(b)$, etc. Las líneas discontinuas verticales de color rojo ayudan a la comprensión del conjunto.

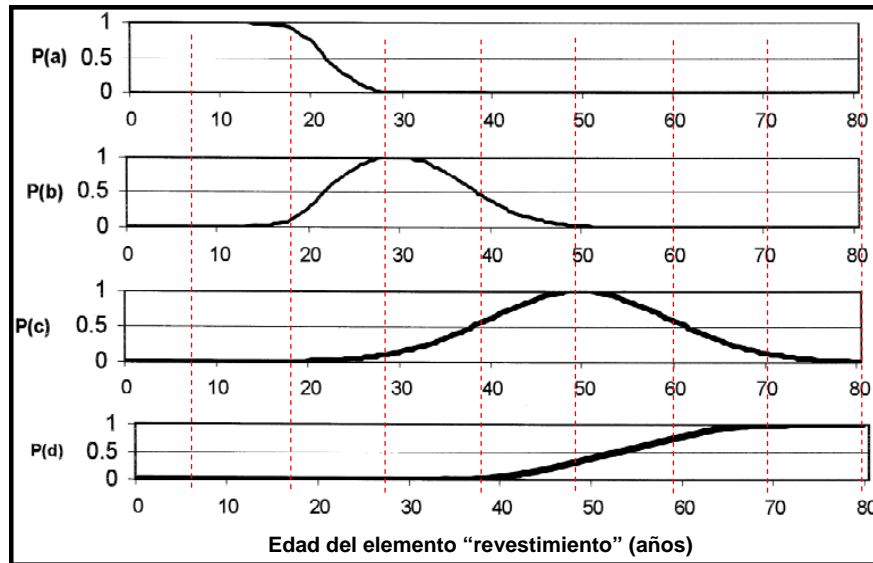


Figura 2.5. Curvas de probabilidad para los códigos de deterioro del elemento "revestimiento" (Flourentzou et al., 2000)

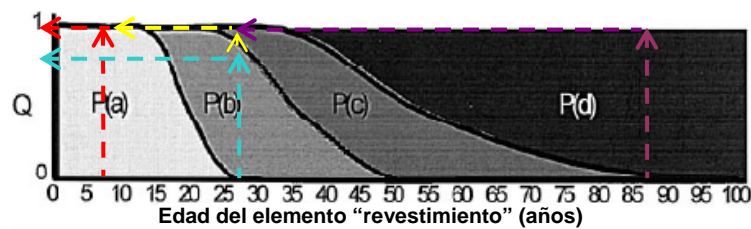


Figura 2.6. Probabilidades acumuladas de los códigos de deterioro del elemento revestimiento (Flourentzou et al., 2000)

A partir de esta curva acumulativa se puede extraer la siguiente información: un revestimiento de 10 años de edad tiene un 100% de probabilidad de corresponder a un código "a" (buen estado), mientras que un revestimiento de 30 años de edad tiene un 80% de probabilidad de corresponder a un código "b" (defecto cognitivo leve) y un 20% a un código "c" (defecto grave). Asimismo, un revestimiento de 90 años tiene una probabilidad del 100% de corresponder a un código "d" (debe ser sustituido). Cualquier elemento específico puede estar situado en algún punto entre 0 y 1 en el eje vertical de la gráfica dependiendo de su calidad. Las líneas discontinuas de diferentes colores (usadas para los 10, 30 y 90 años de edad) ayudan a la comprensión de lo explicado.

También dentro del campo de determinar la durabilidad del revestimiento en fachadas está el estudio realizado por Gaspar y De Brito (2003), que define un método para determinar los factores de durabilidad basados en tres pasos:

- Identificar un patrón de degradación para el material considerado, ya sea a través de ensayos de laboratorio o mediante inspección visual en el trabajo de campo.

- Expresar la pérdida de rendimiento en las curvas de degradación de manera que las estimaciones de la vida útil se puedan obtener para todos los casos estudiados.
- Agrupar cada caso de predicción de vida útil de acuerdo a la identificación de sus diferencias en lo que se refiere a los factores de durabilidad, los patrones de la vida útil que se espera y los resultados discutidos.

Dicho estudio identificaba tres fases de deterioro que describen la pérdida de rendimiento del revoco en las fachadas a lo largo del tiempo:

- **Iniciación:** a partir del momento de aplicación se producen defectos como la aparición de fisuras por contracción/dilatación del material o de manchas superficiales por incompatibilidad de materiales o por la presencia de lluvia.
- **Maduración:** el deterioro aparentemente se desacelera, pero en realidad sigue evolucionando debido a la humedad, al ataque de sulfatos, a los efectos de carbonatación, etc.
- **Deterioro tardío:** corresponde al final de la vida de servicio, en la que realmente aumenta la degradación debido a la entropía de las diferentes fuentes de defecto tales como el deterioro de la superficie, la pérdida de adherencia y la presencia de humedad.

Un trabajo posterior de Gaspar y De Brito (2005b) establece un modelo que define la velocidad de deterioro de los revocos en función de las condiciones ambientales, y que a su vez proporciona datos que permiten determinar intervalos de variación para cada uno de los índices a considerar en el cálculo de la vida útil de los revocos exteriores. Para estimar la vida útil de los revocos, los autores se basaron en una curva teórica de rendimiento a través de métodos de regresión en función del tipo de agresividad del agente de degradación (Shohet, 1999). En este sentido, se pueden representar seis ritmos diferentes de degradación, tal y como muestra la *Figura 2.7*, donde:

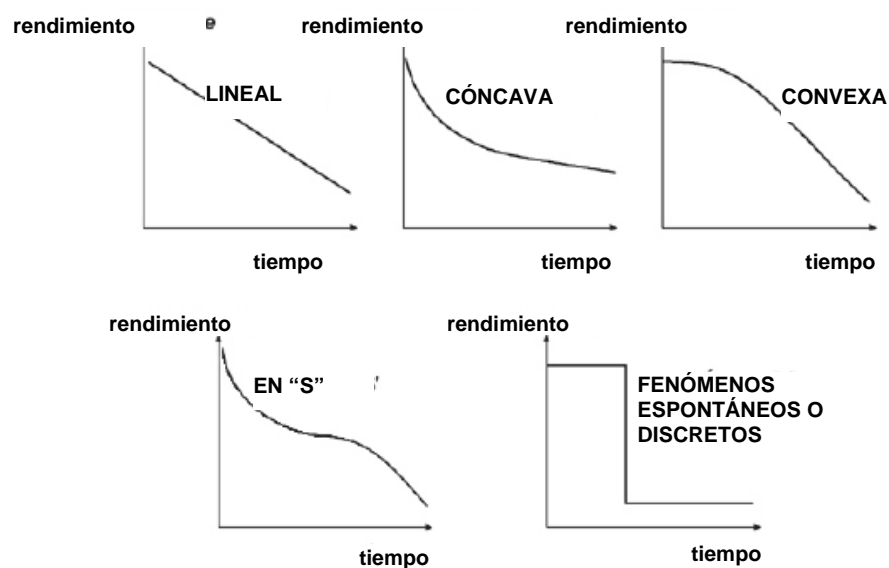


Figura 2.7. Curvas de degradación adaptadas de Shohet, 1999 (Gaspar y De Brito, 2005b)

- Lineal: acciones de agentes permanentes como los agentes atmosféricos.
- Cóncavo: acciones de rápido desarrollo inicial pero cuyo potencial de degradación tiende a disminuir en el tiempo como los microorganismos o las eflorescencias.
- Convexo: acciones de degradación de lento desarrollo inicial pero cuyos efectos se dejan sentir de forma acumulativa como los fenómenos físicos y químicos.
- En “S”: acciones que se manifiestan temprano, aparentemente se estabilizan, pero que en la práctica siguen estando activos o creando las condiciones necesarias para la aparición de un deterioro más profundo y rápido.
- Discreto: acciones que no pueden expresarse en una función continua porque pueden ocurrir en cualquier momento de la vida del material de forma espontánea o al azar.

2.4.3. Sistema de gestión de la vida útil en el campo de la construcción

El Proyecto Cluster de Sarja *et al.* (2005) plantea un enfoque holístico¹³ uniforme para la evaluación, validación y explotación de infraestructuras civiles y edificios, con plena consideración de funcionalidad y de sostenibilidad económica y ecológica. Para llevar a cabo este proyecto europeo se ha contado con la cooperación de un grupo de gestión formado por cinco nodos de la investigación y la práctica, cada uno de los cuales es el encargado de liderar un sub-proyecto.

El proyecto realiza un análisis de la metodología empleada en el sistema de gestión de la vida útil en el campo de la construcción. Para establecer los modelos estadísticos de predicción del deterioro de las estructuras, se desarrollan los principios de los métodos alternativos a partir de tres tipos de patrones de degradación. La determinación de múltiples criterios de optimización y toma de decisiones para la selección de inversiones permite clasificar las estrategias alternativas, las tecnologías y los materiales en orden de preferencia, en función de los requisitos genéricos.

El marco general diseñado para desarrollar el modelo del ciclo de vida de rendimiento forma parte fundamental desde el inicio del proyecto, registrando los procesos de toma de decisión en una especie de “diario de a bordo”, con el objetivo de tener un impacto real. Uno de los aspectos más destacables del amplio proyecto es el interés de los autores por **el efecto en la evolución del deterioro en función de la calidad de los materiales**. Una calidad baja tendrá una vida corta, mientras que una calidad alta tendrá una vida larga. Estas áreas dependen claramente no sólo de la fabricación y los materiales del elemento, sino también del mantenimiento y de las condiciones ambientales. Esta preocupación por la calidad de los materiales proporciona una mejora en la aproximación hacia un modelo fiable de predicción de vida útil de las fachadas. Sin embargo, sería

¹³ En general, el holismo considera que el sistema completo se comporta de un modo distinto que la suma de sus partes. De esta forma, el holismo resalta la importancia del todo como algo que trasciende a la suma de las partes, destacando la importancia de la interdependencia de éstas. Cabe mencionar que el holos (un término griego que significa “todo” o “entero”) alude a contextos y complejidades que entran en relación, ya que es dinámico.

necesario confirmar estas curvas teóricas con datos obtenidos a partir de inspecciones reales.

Otras guías europeas para el diseño de la vida útil y gestión de edificios, además del referido Proyecto Cluster (Sarja, 2005), pueden encontrarse en Carlsson *et al.* (2002), Hovde (2004), Moser (2004), Balaras *et al.* (2004 y 2005). Por otro lado, en EEUU, las normas y metodologías avanzadas para predecir la vida útil de materiales y componentes de edificios pueden verse, por ejemplo, en las referencias del *Institute for Research in Construction* (Montreal, Canadá), (Lacasse y Sjöström, 2004 y 2005). En todos estos casos, las guías representan información relevante con objeto de definir la severidad de las lesiones, los estados en el inicio y la progresión del proceso de deterioramiento, y las transiciones entre ellos.

2.5. PLANTEAMIENTO ESTADÍSTICO MEDIANTE TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA

2.5.1. Introducción

En las anteriores secciones se han visto aspectos esenciales sobre el mantenimiento y gestión de los edificios, basados en algunos de los numerosos estudios que hay al respecto. En relación con lo anterior, también se han visto estudios sobre predicción de la vida útil en elementos constructivos. En este marco, es evidente que resultaría de gran utilidad el poder predecir en el tiempo cómo evolucionará un edificio o un elemento del mismo, o cómo se degradará, poder predecir en qué momento aparecerá una determinada patología, lo que permitiría anticiparse al fallo o lesión, pudiendo así optimizar los trabajos preventivos y de mantenimiento.

Así, en este apartado se ven qué tipos de estudios estadísticos, basados principalmente en **técnicas de análisis de supervivencia**¹⁴, se han desarrollado para facilitar esta labor predictiva. Cabe decir que hasta el año 2009 no existían en la literatura referencias sobre técnicas de análisis de supervivencia basados en el estudio estadístico de una gran muestra de edificios. Las primeras contribuciones relacionadas con mantenimiento de edificios aparecen en los años noventa e inciden básicamente en la predicción de la vida útil de materiales de construcción (Frohnsdorff, 1996). Son especialmente reseñables los estudios realizados en el seno del Laboratorio de Edificación y del Instituto de Estadística y Matemáticas Aplicadas a la Edificación de la Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona, en la Universidad Politécnica de Cataluña (Serrat *et al.*, 2009).

2.5.2. Metodología de inspección

En este apartado se explican los estudios donde se propone la metodología usada en el proceso de inspección así como las técnicas de análisis de supervivencia para el análisis de los datos obtenidos (Serrat *et al.*, 2009). Esta metodología se ha aplicado a diferentes

¹⁴ En estadística aplicada, el análisis de supervivencia estudia los procesos aleatorios relacionados con la muerte de organismos vivos y el fallo de sistemas mecánicos (Collett, 2003).

ciudades, entre ellas Hospitalet de Llobregat, ciudad de 270.000 habitantes, situada en el área metropolitana de Barcelona, y en la cual se revisaron más de 10.000 fachadas.

La inspección sistemática de los elementos de las fachadas tiene como objetivo detectar los factores de riesgo de las mismas para evaluarlos posteriormente. Para desarrollar una metodología de inspección con el fin de obtener resultados homogéneos para su posterior análisis, debe establecerse, previamente, un criterio basado en la estandarización de los indicadores más significativos objeto del proyecto. En este sentido se clasifican los edificios, los elementos de las fachadas y sus materiales, las lesiones existentes en las fachadas y, finalmente su magnitud, según los siguientes criterios:

- Los edificios se identifican por diferentes parámetros: localización, año de construcción, tipología de construcción, etc.
- Para la caracterización de los elementos constructivos de las fachadas se dividen las mismas en: cuerpo de la fachada y elementos salientes. También se definen los materiales que componen cada elemento.
- La definición de lesión se establece incluyendo las ocho lesiones más comunes que pueden afectar a los elementos de fachada: grieta, fisura, degradación del material, deformación, humedad, oxidación, separación y desprendimiento.
- La clasificación de la gravedad de las lesiones ha sido establecida en relación a la acción que es necesaria para eliminar el riesgo que la lesión provoca con una asignación numérica en función de la *Tabla 2.2*. Nuevamente queda de relieve la necesidad de utilizar una escala para clasificar el grado de gravedad de elementos constructivos (en este caso se utiliza una escala de 7 grados).

Definición	Gravedad	Acción
Fachada correcta	0	Mantenimiento ligero
Síntomas leves	1	Prediagnosis
Daño moderado	2	Mantenimiento moderado
Lesión grave	3	Intervención a largo plazo
Lesión muy grave	4	Intervención a medio plazo
Lesión urgente	5	Intervención a corto plazo
Lesión inmediata	6	Intervención a corto plazo

Tabla 2.2. Códigos de gravedad de lesiones en fachadas de Hospitalet de Llobregat

- La definición de la extensión de los daños se establece en función de la proporción del daño en el elemento inspeccionado por la lesión: puntual (cuando la lesión

afecta a un elemento menos de un 25%), local (cuando la afectación está entre un 25 y un 50%), y general (cuando la zona afectada es superior al 50% del elemento).

2.5.3. Metodología de análisis

Algunas referencias básicas en análisis de supervivencia son los libros de Gómez y Canela (1994), Klein y Moeschberger (1997) y Meeker y Escobar (1998), entre otros muchos. Cuatro conceptos en el análisis de durabilidad (supervivencia en el campo bio-médico, fiabilidad en el campo industrial-tecnológico o incluso análisis histórico en el campo social) son los siguientes: fallo; función de durabilidad; tiempo medio de fallo; función de riesgo o tasa de fallo (*hazard function*).

En el programa de mantenimiento, tiempo cero significa el momento en el que el edificio es construido, es decir, se podría decir que es cuando “nace”, y por fallo se entienden los sucesivos grados de gravedad o magnitud de los daños. Respecto a los grados de gravedad, se simplifica la *Tabla 2.6* como sigue:

- 0 = gravedad baja
- 1 = gravedad media
- 2 = gravedad alta

Se observa aquí que también puede ser de utilidad el simplificar una escala propuesta, pasando en este caso de la escala inicial de 7 grados a una escala simplificada de 3 grados. Por definición, se considera que para llegar al grado 1 ó 2 es necesario pasar por los grados previos. En este sentido, el número de individuos (fachadas) con un determinado riesgo (de suceder el fallo) es el mismo independientemente de la gravedad que se esté considerando, ya que este número sólo depende de la presencia del elemento constructivo.

El caso más sencillo de aparición de fallos es el de un elemento con tasa de fallo constante. En este se puede obtener una aproximación estadística de la vida del elemento con una metodología sencilla. En la mayoría de los casos esto no es posible debido a que la tasa de fallo puede crecer en un periodo de la vida, y en otro, puede decrecer. En estos casos se puede dividir la vida del producto en estas diferentes etapas, en las cuales estas aproximaciones sencillas sean aceptables.

En la mayor parte de los casos, la experiencia ha demostrado que un esquema en tres fases resulta satisfactorio. En numerosos casos la duración de una de las etapas puede ser muy corta, y decidir que se puede ignorar, o bien, se puede centrar el estudio en una de las partes e ignorar las otras (Gibert y Royano, 2010). Estas tres etapas son:

- a. **Periodo de fallo inicial** (*early failure period*). Es el periodo, al principio de la vida, durante el cual la tasa de fallo disminuye con el tiempo. Este periodo es eventual, es decir, no es general su presencia en la vida de los productos. En el ámbito de la construcción, esto se puede deber a que haya errores comunes de ejecución y esto provoque esta tasa de fallo tan elevada al inicio de la vida. Al ir produciéndose los fallos, la tasa de fallo disminuye, es decir la velocidad de los fallos disminuye.

- b. **Periodo de fallo con tasa constante** (*constant failure rate period*). Es el periodo con tasa de fallo aproximadamente constante. Es la etapa en la que se puede obviar el desgaste sufrido por el elemento, por ser muy pequeño.
- c. **Periodo de fallo por desgaste** (*wear-out failure period*). La tasa de fallo aumenta con el tiempo. El elemento entra en un periodo en el que empieza a sufrir el desgaste.

Esta segmentación se ilustra en la *Figura 2.8* con una gráfica de la función de riesgo $h(t)$ de un producto ideal, en el que los tres periodos se producen en el orden descrito anteriormente. Esta gráfica se denomina curva de bañera (*bathtub curve*) porque tiene la forma de una bañera cortada a lo largo (Klutke *et al.*, 2003).

En la *Figura 2.8* se observa que para t_1 finaliza el periodo de fallo inicial y se pasa al periodo de fallo constante, en el que el desgaste sufrido por el elemento es muy pequeño, finalizando dicho periodo para t_2 en que empieza el periodo de fallo por desgaste, en el que la tasa de fallo vuelve a ser elevada.

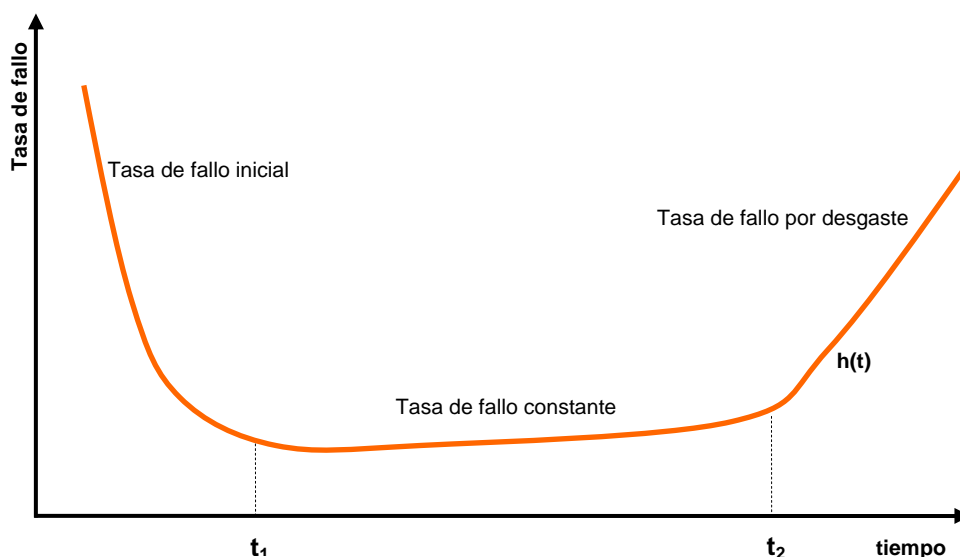


Figura 2.8. Evolución de la tasa de fallo con el tiempo (bathtub curve)

2.6. CONCLUSIONES

Todos los estudios reflejados en el presente capítulo muestran que en las últimas décadas se ha analizado con profundidad cómo gestionar los edificios y cómo realizar un adecuado mantenimiento, atendiendo principalmente a aspectos técnicos y económicos. En la misma línea se han realizado para diagnosticar el estado de conservación de áreas urbanas. Análogamente existen estudios para la predicción de la vida útil en elementos constructivos, y en esta línea empieza a haber estudios matemáticos basados principalmente en análisis de supervivencia. En relación con todos estos estudios se ha visto la necesidad que hay de clasificar los elementos constructivos (como revocos,

fachadas, etc.) según su grado de deterioro, utilizándose para tal fin escalas diversas, las cuales son diferentes entre sí.

De todo lo expuesto queda de manifiesto que es imprescindible realizar inspecciones periódicas de los edificios por parte de personal cualificado, que es necesario disponer de métodos para cuantificar el grado de gravedad de las deficiencias existentes y que con un adecuado mantenimiento se ahorra dinero a medio plazo. También queda de manifiesto que en España no hay arraigada entre la ciudadanía una verdadera cultura sobre el mantenimiento de los edificios.

Es decir, que si bien se conoce con notable detalle cómo realizar el mantenimiento y gestión de los edificios, tanto a nivel técnico como económico, se tiene por otro lado que este tipo de actuaciones en general no se realizan, ya que los propietarios de los edificios no intervienen al respecto, debido a que como se ha visto no hay suficiente concienciación ciudadana respecto al mantenimiento de los edificios, unido, como argumentan algunos autores, a una inadecuada política respecto al mantenimiento de los edificios.

El problema detectado de que no se realizan inspecciones periódicas de los edificios, cuando todos los estudios señalan que estas inspecciones se deberían realizar, ha motivado que diferentes ayuntamientos y una comunidad autónoma en España establezcan normas mediante las cuales obligan a los propietarios de los edificios a que contraten a técnicos para realizar inspecciones técnicas de edificios (ITE) de forma periódica, normalmente cada diez años. En estas normas ITE también se utilizan escalas para valorar el grado de gravedad de las deficiencias existentes en los edificios, escalas que son diferentes entre si según la norma ITE a la que pertenezcan.

CAPÍTULO 3

ESTUDIO DE LAS NORMAS ITE EN VIGOR

3.1. INTRODUCCIÓN

Como se ha visto en el capítulo anterior, el problema señalado respecto a que en España no se realizan inspecciones periódicas de los edificios con la frecuencia necesaria, cuando todos los estudios indican que estas inspecciones se deberían realizar, ha motivado que diferentes ayuntamientos establezcan ordenanzas mediante las cuales se obliga a los propietarios de los edificios a contratar técnicos para realizar inspecciones técnicas de edificios (ITE) de forma periódica, normalmente cada diez años.

El primer ayuntamiento donde entró la ordenanza ITE en vigor fue el de Madrid, en enero del año 2000. También hay una comunidad autónoma, Cataluña, que por las mismas razones ha establecido decreto ITE (decreto 187/2010, del 23 de noviembre), que entró en vigor el 23 de febrero de 2011.

Este tema es de utilidad por la relevancia que tiene en el marco general en que se desarrolla la tesis, así como porque todas las normas ITE tienen un sistema o escala para valorar la gravedad de las deficiencias existentes en el edificio, siendo destacable que estas escalas son diferentes entre sí según a la norma ITE a que pertenezcan.

El objetivo de este capítulo es realizar un estudio sobre el funcionamiento de las normas¹⁵ ITE que hay vigentes en diversos ayuntamientos y una comunidad autónoma de España. En la misma línea se hace también un estudio de la situación en el extranjero respecto a norma ITE o similar.

¹⁵ Se utiliza el término genérico “norma” ITE, ya que en el caso de los ayuntamientos, estas normas son ordenanzas, y en el caso de comunidad autónoma, esta norma es un decreto.

En el desarrollo del presente capítulo se explica la metodología utilizada (Sección 3.2); mientras que en la Sección 3.3 se presenta la relación de las normas ITE que hay en vigor en España y en la Sección 3.4 se realiza el análisis comparativo de las mismas. En la Sección 3.5 se describe la investigación de la ITE en el extranjero, y para acabar en la Sección 3.6 se presentan las principales conclusiones del capítulo.

3.2. METODOLOGÍA

Para realizar el estudio sobre cómo están funcionando las normas ITE que hay en vigor en España, la metodología ha constado de dos partes principalmente, que son las siguientes:

- a. Consulta bibliográfica y documental on line.
- b. Entrevistar numerosas personas e instituciones, entre las que había:
 - Especialistas en materia de patología y mantenimiento de edificios
 - Especialistas en Administración Local
 - Responsables de departamentos ITE de ayuntamientos
 - Colegios Profesionales
 - Universidad

Este método también ha sido utilizado para el estudio de la ITE a nivel internacional, con objeto de determinar qué países tienen algún sistema análogo a la ITE en vigor. Cabe decir que cuando se desarrollaron estas metodologías no se encontró ningún estudio que evaluara cómo están funcionando y cómo se están gestionando las diversas ITE que hay en España, y ni tan sólo se encontró un documento que citara los ayuntamientos donde había ITE en vigor¹⁶. Tampoco se encontró ningún estudio global sobre normas ITE o similar en el extranjero¹⁷. Esta ausencia de estudios previos motivó que la metodología se basara en los puntos a y b antes señalados.

A nivel de España, una vez obtenida a través del método referido la relación de ayuntamientos donde hay ITE en vigor, el siguiente paso ha sido contactar telefónicamente con responsables de estos departamentos ITE. Posteriormente se ha enviado una carta de presentación explicando la razón de este estudio, y el cuestionario de la *Tabla 3.1* para obtener datos básicos sobre la gestión de la ITE en cada ayuntamiento.

¹⁶ Hay que tener en cuenta que este estudio se realizó desde enero del año 2009 hasta febrero de 2011. Posteriormente, en julio de 2011 el Ministerio de Fomento sí realizó un estudio de la ITE a nivel de España, donde se recogen algunas características de diferentes normas ITE. Sus datos, que van siendo actualizados, se pueden consultar a través del Observatorio ITE (www.iteweb.es).

¹⁷ Hay que tener en cuenta que este estudio se realizó desde marzo de 2009 hasta marzo de 2010. Posteriormente, en octubre de 2012 el Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona (CAATEEB) sí realizó un estudio de la ITE a nivel internacional a petición del Ministerio de Fomento, donde los datos que se aportan son acordes con las conclusiones aquí presentadas.

Nº	Preguntas
1	Fecha de entrada en vigor de la norma ITE
2	Qué edificios deben pasar la ITE y cada cuánto (por ejemplo edificios de más de 40 años de antigüedad, y deben pasar la ITE cada 10 años, etc.)
3	Número de ITEs tramitadas hasta la fecha (si puede ser, desglosado por años)
4	Dónde se tiene que presentar la ITE
5	Plazo para la presentación de la ITE
6	Plazo para la renovación de la ITE.
7	Acreditación de la edad de las edificaciones (con el certificado de final de obra, etc.)
8	Ayudas por acreditación del cumplimiento de la ITE
9	Consecuencias del incumplimiento de la ITE
10	Plazo máximo para la presentación del primer certificado
11	Contenido del informe/certificado (ITE)
12	Quién debe solicitar la ITE?
13	Qué técnicos pueden realizar la ITE?
14	Cómo se obtendrá el informe (obtención del informe expedido por el técnico, etc.)
15	Cuántas ITEs han salido favorables y cuántas desfavorables.
16	De las ITEs que han salido desfavorables, en cuántos casos el edificio ha sido reparado convenientemente.
17	Cuántas personas forman el departamento que gestiona los expedientes ITE.
18	Perfil de estas personas (cuántos aparejadores, abogados, administrativos, etc.)
19	De dónde depende orgánicamente el departamento que gestiona las ITE
20	Otros aspectos que se considere oportuno añadir.

Tabla 3.1. Cuestionario enviado a los departamentos ITE de los diferentes ayuntamientos con ITE en vigor

Cabe destacar que en algunos casos ha sido muy difícil o imposible poder contactar con las personas encargadas del departamento ITE de los ayuntamientos. Análogamente decir que no todos han podido contestar el cuestionario por distintos motivos; su reciente aplicación (algunos con vigor desde 2009 o 2010 todavía no tienen datos validados de la ITEs realizadas), en algún caso ha entrado en vigor y no se ha realizado ninguna

inspección, y en otros no ha sido posible que devolviesen el cuestionario completo, lo que no ha permitido realizar un estudio exhaustivo.

La comunidad autónoma consultada ha aportado los datos solicitados y de los 31 ayuntamientos consultados que tienen ITE en vigor han contestado 20, ya sea telefónicamente o vía correo electrónico, y de los otros 11 no se ha obtenido respuesta y sus datos se han obtenido a través de su búsqueda en la información oficial que los diferentes ayuntamientos tienen en la red.

3.3. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS DIFERENTES NORMAS ITE

3.3.1 Relación de las normas ITE que hay en vigor en España y año de entrada en vigor

Recogidas todas las legislaciones ITE existentes, se ha realizado un estudio de todas ellas y se han sintetizado sus características principales para su mejor comprensión. En la *Tabla 3.2* se presentan todas las normas ITE de España de las que se ha encontrado información, habiendo un total de 32 legislaciones en vigor (31 ayuntamientos y una comunidad autónoma (CC.AA.), Cataluña). Los ayuntamientos están ordenados por comunidades autónomas y orden alfabético.

CC.AA.	Municipio o CC.AA.
Andalucía	Cádiz, Córdoba, Granada, Jerez de la Frontera, Málaga, Puerto de Santa María y Sevilla
Aragón	Zaragoza.
Castilla la Mancha	Cuenca y Toledo
Castilla León	Ávila, León, Salamanca y Valladolid
Cataluña	Cataluña (CC.AA.) y Manresa
Comunidad de Madrid	Alcalá de Henares, Alcobendas, Madrid, Móstoles, Navalcarnero, San Sebastián de los Reyes y Valdemoro
Comunidad Valenciana	Alcoy y Valencia
Galicia	Ferrol, La Coruña, Lugo y Vigo
Islas Baleares	Palma de Mallorca
Islas Canarias	San Cristóbal de la Laguna
País Vasco	Basauri

Tabla 3.2. Municipios y comunidades autónomas (CC.AA.) con norma ITE en vigor agrupados por CC.AA. (febrero 2011)

Como soporte documental al capítulo, en el *Anexo I* se presentan 4 tablas donde se exponen las características principales de las diferentes normas ITE que hay en vigor.

En la *Figura 3.1* a modo de resumen se muestra, según el año de entrada en vigor de la normativa, un mapa de España donde quedan reflejados todos los ayuntamientos y la comunidad autónoma con ITE. Se han clasificado en 3 grupos, el primero en color rojo donde se recogen aquellos que han entrado en vigor en el 1999 y 2000, siendo los años pioneros, posteriormente en verde del año 2001 al 2005, y en azul del 2006 al 2011, año en que finaliza el estudio.

En dicha *Figura 3.1* se observa una gran variedad de municipios y zonas donde hay ordenanza ITE, siendo las comunidades autónomas con mayor número de municipios con ITE en vigor la Comunidad de Madrid y la Comunidad de Andalucía, con siete municipios cada una. Análogamente, hay comunidades que no tienen ninguna norma ITE y sólo hay una comunidad autónoma, Cataluña, que tenga normativa a nivel autonómico.



Figura 3.1. Mapa de municipios y comunidad autónoma con ITE en vigor

En la *Figura 3.2* se presenta el número de normas ITE entradas en vigor por año, siendo en 2010 cuando hubo más entrada de normas ITE en vigor, con 4 ayuntamientos que pusieron su ITE en vigor y la comunidad autónoma de Cataluña. Destacan asimismo los años 2000 y 2001, con 4 ayuntamientos que pusieron su ITE en vigor cada año. Como se ha referido, el estudio finalizó en febrero del 2011, por tanto el 2011 sólo refleja una cifra parcial que puede variar, igualando o superando la del 2010.

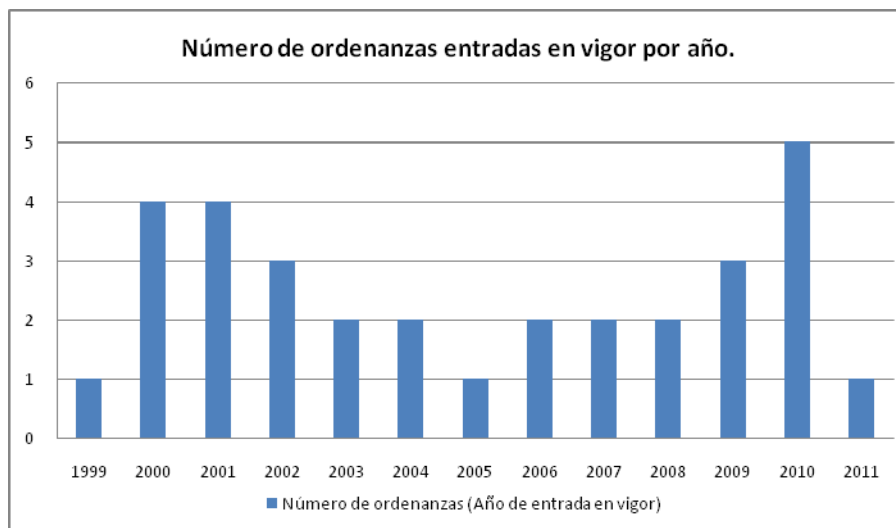


Figura 3.2. Número de normas ITE entradas en vigor por año (en el año 2011 el estudio es sólo hasta el mes de febrero)

Se puede observar que el periodo 2002 al 2008, muestra una bajada en el número de entradas en vigor de normas ITE. Este periodo coincide con el momento en que la construcción se enfocaba hacia la obra nueva, dando poca importancia a la rehabilitación y el mantenimiento. Finalmente en los últimos años, 2009 y 2010, ha habido un crecimiento notable, que puede ser debido en parte a la crisis inmobiliaria del sector, en especial a lo que obra nueva se refiere, por lo que se da más importancia a la rehabilitación y el mantenimiento.

Hasta el 2010, todas las iniciativas de puesta en marcha de norma ITE han sido a nivel de Administraciones Locales, no obstante, en noviembre del 2010 la Generalitat de Cataluña implantó la ITE de forma genérica en toda Cataluña, que entró en vigor en febrero de 2011, convirtiéndose así en el primer caso donde se implanta la ITE en toda una comunidad autónoma.

Cada normativa ITE establece una antigüedad para realizar la primera inspección, siendo las más habituales a los 30 y a los 50 años. Uno de los motivos de que sea 30 años una de las antigüedades más comunes es que en la Comunidad de Madrid, 6 de sus 7 municipios tienen este valor. La antigüedad de 50 años se da en ordenanzas ITE en varias CC.AA. (Andalucía (3), Aragón (1), Castilla la Mancha (1), C. Valenciana (2), Galicia (1) y País Vasco (1)).

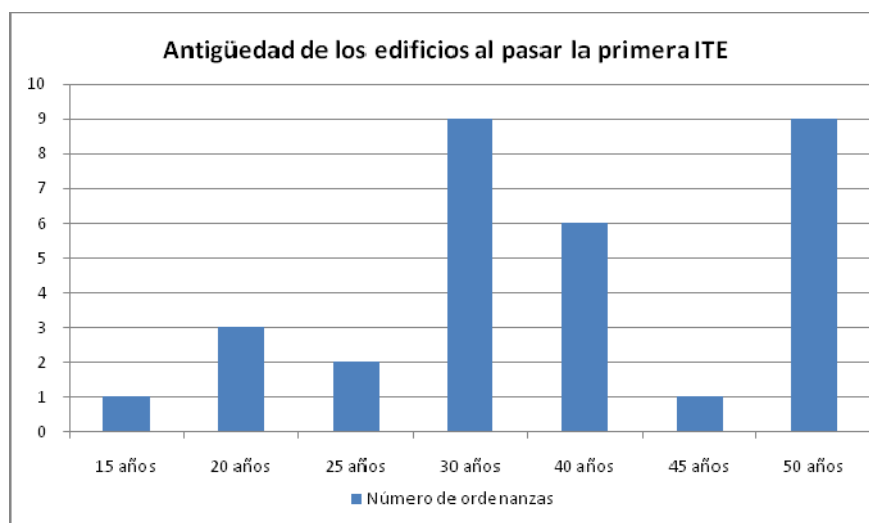


Figura 3.3. Antigüedad de los edificios que deben pasar la ITE

Existen diferencias entre las diversas normas ITE y en la forma de gestionarlas por parte de los diversos ayuntamientos. Debido a la gran variabilidad de los datos recogidos, en los siguientes apartados se realiza una síntesis de los aspectos que tienen comunes y diferentes estas normas ITE, tanto en lo que se refiere a la ordenanza en sí, como a la gestión.

3.3.2. Aspectos comunes

1. Entre los edificios que deben pasar la ITE están incluidos los edificios privados en todos los casos.
2. Se revisa la totalidad del edificio (fachada, estructura, cimentación, cubierta, instalación de saneamiento). Con la excepción de la ordenanza de Barcelona, donde sólo se revisa la fachada.
3. El criterio general de selección de los edificios que deben pasar la ITE se hace en función de la antigüedad. Se incluyen otros criterios adicionales, a través de los cuales el ayuntamiento pueda obligar a que un edificio pase la ITE, aunque no tenga la antigüedad estipulada. Entre estos criterios está el estado de conservación del edificio, que esté catalogado, etc.
4. La aplicación de la ITE se realiza de forma escalonada, siendo establecido este escalonado también en función de la antigüedad. Es decir, que primero deberán pasar la ITE los edificios más antiguos.
5. La ITE la pagan los propietarios.
6. Los técnicos que realizan la ITE son técnicos privados.

7. Los técnicos que realizan la ITE no es necesario que acrediten formación específica en diagnóstico de patología ni en ITE¹⁸, ni de que formen parte de ninguna Asociación ITE.
8. El técnico que realiza la ITE puede ser el mismo que, en caso que la ITE salga desfavorable, propone y dirige los trabajos terapéuticos o rehabilitadores.
9. En todos los modelos de informe ITE se debe valorar el grado de gravedad de las deficiencias existentes en el edificio.
10. La conclusión del informe ITE es que sea favorable (no hay disfunciones graves en el edificio) o desfavorable (hay disfunciones graves en el edificio). En el decreto ITE para Cataluña, la conclusión del certificado de aptitud, basada en el resultado del informe ITE, puede ser apto (no hay disfunciones graves en el edificio) o no apto (hay disfunciones graves en el edificio).
11. En caso que los propietarios incumplan con su deber de pasar la ITE, el procedimiento que se establece en las ordenanzas al respecto es la aplicación de régimen coercitivo, con imposición de multas coercitivas. Igualmente se prevé la opción de que la ITE se pueda realizar subsidiariamente por parte del ayuntamiento, exigiendo al propietario el pago del coste de la inspección, y caso que sean necesarias obras de reparación, el pago de estas obras.
12. No existen subvenciones propias de las Administraciones Locales para rehabilitar los edificios, para los casos en los que haya salido ITE desfavorable.
13. En general, los departamentos ITE dependen orgánicamente de las áreas de Urbanismo.
14. Se tiene control del número de ITEs que se han tramitado, y de cuántas han resultado favorables, cuántas desfavorables y cuántas presentan incidencias especiales.

3.3.3. Aspectos diferentes

1. Además de estar incluidos los edificios privados, en algunos ayuntamientos se incluye también en la ITE los edificios de titularidad pública, iglesias, etc. Igualmente en algunos se incluyen también otro tipo de construcciones como muros de contención, etc.
2. Si bien todas las ITE en vigor analizadas son de aplicación, como mínimo, a todo tipo edificio privado de viviendas, tanto plurifamiliar como unifamiliar, en la ITE de Cataluña sólo es de aplicación a los edificios plurifamiliares, quedando excluidos los unifamiliares.

¹⁸ Con la excepción del municipio de Málaga, donde sí se debe acreditar haber realizado un curso sobre ITE de 20 horas de duración.

3. El ámbito de aplicación, en la mayoría de los casos es todo el municipio, pero en algunos casos el ámbito de aplicación se restringe a unas determinadas zonas o barrios del municipio. En la ITE de Cataluña es de aplicación a toda Cataluña.
4. La antigüedad que se establece para los edificios que deben pasar la ITE varía, en general entre los 25 y los 50 años.
5. El escalonado que se establece para la aplicación de la ITE es diferente entre los diversos ayuntamientos. Es lógico que así sea, pues los municipios tienen diferentes características edificatorias en cuanto a su antigüedad.
6. La periodicidad con que se deben pasar las ITEs varía. En la mayor parte de los casos es cada diez años, habiendo algunos casos en que es cada cinco años. En el caso de Manresa, durante los primeros años de aplicación de la ITE la periodicidad era variable en función de la antigüedad del edificio. Actualmente la periodicidad es también cada diez años.
7. En algunos municipios la ITE se realiza de forma sistemática en función de lo que establece la norma, mientras que en otros se realiza de forma voluntaria.
8. En algunos municipios los técnicos que pueden realizar la ITE son aparejadores (o arquitectos técnicos o ingenieros de edificación) y arquitectos, mientras que en otros hay diversas ingenierías que también pueden realizar la inspección.
9. Existen diferencias sobre el modelo de informe ITE a presentar, desde la opción de modelo sustancialmente abierto que deja al técnico notable libertad para plasmar su diagnóstico, habiendo de dar respuesta claro está a unos campos obligatorios, hasta la opción de modelo estructurado en multitud de casillas.
10. Existen diferencias sobre los métodos de valoración del grado de gravedad de las deficiencias existentes en los edificios, utilizándose diferentes escalas de gravedad. Este punto se trata con más detalle en el siguiente apartado 3.3.4.
11. Respecto a elementos de revisar del edificio, que ya se ha visto en el punto 2 del apartado anterior los aspectos que son comunes entre los ayuntamientos, existe divergencia en que en algunos municipios se deben revisar también otros aspectos, como la instalación de fontanería, la instalación eléctrica, o la situación del inmueble respecto al Plan General, mientras que en la mayoría de municipios no se deben revisar los mencionados aspectos.
12. El nivel de detalle y fiabilidad que se pide de la ITE en algunos ayuntamientos es superficial, mientras que en otros es de más profundidad, de nivel intermedio¹⁹.
13. En algunos municipios no hay tarifas mínimas orientativas de honorarios sobre lo que debe cobrar el técnico por hacer la ITE, mientras que en otros sí.

¹⁹ En el Anexo II se explican las características de las inspecciones de nivel superficial y de nivel intermedio, relacionando tiempo dedicado a la inspección y fiabilidad del diagnóstico.

14. Algunos ayuntamientos subvencionan parcialmente el coste de la ITE a los propietarios, y en otros no.
15. En algunos municipios se realizó importante campaña previa de información y concienciación a la ciudadanía respecto la ITE, antes de la entrada en vigor de la misma, y en otros no.
16. La dotación de personal de los departamentos ITE, ajustada por número de habitantes y número de edificios, es diferente entre los diversos ayuntamientos, lo que muestra que se dedican diferentes magnitudes de esfuerzos a la gestión de la ITE, al destinar diferentes magnitudes de recursos humanos.
17. El grado de cumplimiento de la ITE respecto a las previsiones es diferente entre los municipios, desde grados de cumplimiento elevados, a grados moderados, a grados bajos o incluso muy bajos.
18. La proporción de edificios tratados terapéuticamente debido a que la ITE ha resultado desfavorable es muy variable, y en algunos ayuntamientos se conoce y se controla y en otros no.
19. En algunos ayuntamientos y en Cataluña se han realizado convenios con Colegios Profesionales, principalmente Colegios de aparejadores y Colegios de arquitectos, mientras que en otros ayuntamientos no.
20. En algunas zonas, los colegios profesionales y/o las administraciones públicas revisan los informes ITE realizados por los técnicos particulares, mientras que en otras zonas no se realiza esta revisión.

3.3.4. Escalas de gravedad utilizadas en las normas ITE

Como se ha referido en otras partes del presente capítulo, en las normas ITE se utilizan escalas para valorar el grado de gravedad de elementos constructivos. Igualmente en el apartado 3.3.3 (punto 10) se ha dicho que dichas escalas son diferentes entre sí. Con objeto de ilustrar este aspecto, en el presente apartado se muestran dos de los métodos de valoración utilizados en normas ITE.

Escala de gravedad en la ITE de Cataluña

Esta escala se aplica para evaluar el grado de deterioro de elementos constructivos en edificios de viviendas plurifamiliares, en el marco de la ITE de Cataluña (Decreto 187/2010). Según dicho sistema ITE, las deficiencias se clasifican en dos niveles, que son leves y graves, según las siguientes definiciones:

- Deficiencias graves: son las que, por su importancia, hay que reparar en los plazos indicados. En el caso que representen un riesgo para las personas, hay que indicarlo expresamente y detallar las medidas urgentes de seguridad a adoptar previas a la ejecución de las obras.

- Deficiencias leves: son las que, sin ser graves, hacen necesaria la realización de trabajos de mantenimiento para evitar el deterioro del edificio o de una parte.

En base a estas definiciones, el técnico realiza asignación directa entre deficiencia leve, deficiencia grave, o no deficiencia (y en este caso no hace ficha de deficiencia en el marco del informe ITE). Por tanto, de esto se deduce que la escala que se utiliza en la ITE de Cataluña respecto a elementos constructivos es de 3 grados, que serían los siguientes:

- Buen estado, por tanto no se considera deficiencia
- Deficiencia leve
- Deficiencia grave

Existe igualmente una escala para la calificación del estado general del edificio. En este caso la escala consta de 4 grados, que quedan reflejados en la *Tabla 3.3*.

Calificación del edificio	Descripción
Muy grave	Existencia generalizada de deficiencias que por su importancia afectan gravemente la estabilidad del edificio y representan un peligro para la seguridad de las personas.
Con deficiencias graves	Existencia de deficiencias que por su importancia hay que corregir en los plazos indicados.
Con deficiencias leves	Existencia de deficiencias producidas por falta de conservación. Hay que efectuar trabajos de mantenimiento.
Sin deficiencias	No se aprecian deficiencias en la inspección ocular.

Tabla 3.3.- Calificación del estado general del edificio, según la ITE de Cataluña

Cabe decir que, en especial durante las fases iniciales de funcionamiento de la ITE de Cataluña, se ha detectado que al realizar los informes ITE existe cierta variabilidad entre los técnicos al valorar el grado de gravedad de las deficiencias existentes en un edificio. Así en Cataluña, donde se revisan (a través de los Colegios de Aparejadores, Colegio de Arquitectos y Generalitat) la totalidad de los informes ITE que se hacen, han sido numerosos los casos en que los órganos revisores han mostrado discrepancias sobre la valoración de grado de gravedad de las deficiencias que han hecho los técnicos privados (especialmente en deficiencias calificadas como leves por los técnicos privados, la Generalitat las consideraba graves, sobre todo en el caso de humedades).

Este hecho ha producido que la escala existente de 3 grados la Generalitat la considere poco adecuada por prestarse a confusiones, por lo que se ha propuesto modificarla por una nueva escala de 5 grados²⁰ (Sanuy, 2012). Igualmente se considera incongruente que haya una escala de 3 grados para valorar los elementos constructivos y una escala de 4 grados para valorar la totalidad del edificio (Sanuy, 2012).

²⁰ En el momento del cierre de la tesis todavía está en funcionamiento la escala de 3 grados.

Escala de gravedad en la ITE de Palma de Mallorca

Esta escala se aplica para evaluar el grado de deterioro de elementos constructivos en edificios, en el marco de la ITE de Palma de Mallorca (Ordenanza Municipal sobre la Inspección Técnica de Edificios, de 22 de diciembre de 2004). Según dicho sistema ITE, el grado de deterioro de los elementos constructivos se clasifica en 5 supuestos, según la *Tabla 3.4*.

Supuestos	Descripción
Supuesto 1	No se detectan lesiones.
Supuesto 2	Se detectan lesiones que no afectan a la seguridad constructiva.
Supuesto 3	Se registran síntomas que podrían afectar a la seguridad constructiva. No se han facilitado todos los medios necesarios para verificar las lesiones presumibles por: A = No se ha permitido la entrada al piso o local para hacer la inspección. B = Imposibilidad de acceso al piso o local para hacer la inspección. C = No se han llevado a cabo las medidas complementarias de verificación.
Supuesto 4	Se detectan lesiones que afectan a la seguridad constructiva pero que no requieren una reparación urgente.
Supuesto 5	Se detectan lesiones que afectan a la seguridad constructiva y que requieren una reparación urgente

Tabla 3.4.- Calificación del grado de deterioro según la ITE de Palma de Mallorca

En base a estas definiciones, el técnico realiza asignación directa entre los 5 supuestos.

3.3.5. Conclusiones

De lo estudiado sobre el funcionamiento de las normas ITE en vigor en España se desprenden las siguientes conclusiones principales:

- Hay gran disparidad de criterios entre las diferentes administraciones públicas para aplicar la ITE.
- El aspecto más complejo de la norma ITE es, con diferencia, la gestión de la misma por parte de la Administración Pública, es decir, que realmente se consiga que se realicen las ITEs que corresponde, y donde el resultado de la ITE sea desfavorable, se realicen los tratamientos terapéuticos que sean menester.
- Para que la norma ITE funcione adecuadamente es necesario que la administración pública que gestiona la ITE (ya sea ayuntamiento o comunidad autónoma) disponga de suficiente personal (del ámbito administrativo, técnico y jurídico),

adecuadamente formado y motivado. Análogamente es importante realizar adecuada planificación del marketing de la ITE, así como campañas de difusión y concienciación a la ciudadanía (marketing directo) sobre los beneficios de realizar la ITE (evitar situaciones de riesgo, ahorrar dinero, etc.). Estas campañas se deben realizar antes de la entrada en vigor de la norma ITE, así como durante su funcionamiento.

- Las escalas que se utilizan en las normas ITE para valorar el grado de gravedad de las deficiencias son diferentes entre si.
- Se ha detectado que al realizar los informes ITE existe cierta variabilidad entre los técnicos en el momento de valorar el grado de gravedad de las deficiencias existentes en un edificio.

3.4. INVESTIGACIÓN DE LA ITE EN EL EXTRANJERO

3.4.1. Introducción

Por las mismas razones que se ha realizado el estudio y análisis de las normas ITE que hay en vigor en España, se ha considerado de interés investigar cuál es la situación de la ITE o normas de concepción análoga en el extranjero. Tras la búsqueda de información se llega a tres conclusiones:

- No se ha encontrado ningún estudio global sobre la situación de la ITE a nivel internacional.
- Si bien existen multitud de estudios, monografías, recomendaciones, etc. en el extranjero sobre inspección y mantenimiento de edificios (Hunt, 2013; U-HAB y HPD, 2012), donde se explica con detalle qué y cómo se debe revisar, la importancia del mantenimiento y de las inspecciones periódicas, incluso el tipo de técnicos que deben realizar las inspecciones, y la formación académica y aptitudes personales que deben tener estos técnicos, apenas hay nada sobre normas de las Administraciones Públicas que obliguen a los propietarios de los edificios a realizar inspecciones periódicas de los edificios. Tan sólo en el ayuntamiento de Roma se ha encontrado una norma de concepción análoga a la ITE.
- La casi total ausencia de normas análogas a ITE en el extranjero induce a pensar que en otros países se utilizan otros métodos para conseguir realizar las necesarias inspecciones periódicas de los edificios.

A continuación se explican los casos de más interés estudiados, que son los correspondientes a los siguientes ayuntamientos: Roma, París, Londres y Quebec.

3.4.2. Ayuntamiento de Roma

El día 16 de diciembre de 1998, en la calle Vigna di Jacobino, en Roma, se produjo el colapso de un edificio de viviendas, pereciendo en el siniestro 27 personas. Esta

tragedia, que produjo un muy fuerte impacto social, junto con otros casos de colapsos de edificios debidos principalmente a fallos estructurales, motivó que el ayuntamiento de Roma creara una norma que obligara a los propietarios de los edificios a realizar inspecciones periódicas de los edificios, con una periodicidad de ocho años, a través del denominado *Fascicolo del fabbricato* (expediente del edificio), (Manieri, 2008). En este expediente deben constar los siguientes aspectos:

- a.- Identificación de la construcción.
- b.- Características del edificio.
- c.- Datos sobre planificación urbana y técnicas generales.
- d.- Documentos técnicos disponibles.
- e.- Geología del subsuelo.
- f.- Tipología, coherencia y estado de conservación de las estructuras.
- g.- Instalaciones (saneamiento, fontanería y calderas).

Como se puede apreciar, el *Fascicolo del fabbricato* tiene algunas diferencias respecto a las ITEs que hay en vigor en España, ya que por un lado deben constar datos sobre planificación urbana, estudio de la geología del subsuelo, y revisión de la instalación de fontanería y calderas, cuando en la mayor parte de las ITEs estudiadas, no deben revisarse los citados aspectos²¹. Por otro lado, en el *Fascicolo del fabbricato* no se incluye la revisión de fachadas ni cubiertas, mientras que en todas las ITE que hay en vigor en España sí deben revisarse estos aspectos.

En cuanto a la cronología de esta norma, los edificios construidos antes de 1939 debían tener en regla el *Fascicolo del fabbricato* para el 30 de septiembre de 2005, y para el 31 de marzo de 2007 los edificios construidos posteriormente. Para edificios en construcción y para aquellos construidos después de la aprobación de la regulación, deben tener en regla el *Fascicolo del fabbricato* antes de realizar la solicitud de habitabilidad.

Por tanto en este aspecto existe otra diferencia sustancial con las ITEs estudiadas, ya que en este segundo caso, como se ha visto, la ITE se aplica sobre edificios de cierta antigüedad, que oscila en general entre los 30 a los 50 años de edad del edificio (con aplicación escalonada) dependiendo de los ayuntamientos, mientras que en Roma se aplica sobre todos los edificios, incluso los acabados de construir.

Respecto otros aspectos de interés relacionados con el *Fascicolo del fabbricato*, cabe decir que tener el mismo en regla es obligatorio para conceder cédulas de habitabilidad, permisos y certificados requeridos por las leyes de zonificación y de prevención de incendios. Por otra parte no se prevén sanciones administrativas para los propietarios que no cumplan con su deber de revisión del edificio. Nuevamente, lo referido en este párrafo es otro aspecto diferencial respecto a la mayor parte de las ITE que hay en vigor en España.

²¹ De hecho, la geología del subsuelo no debe revisarse en ninguna ITE en vigor en España.

Es de resaltar que, según algunos especialistas italianos, se produce por parte de algunos técnicos un efecto de competencia desmesurada de precios, a la baja, de manera que cobran unos honorarios desproporcionadamente bajos que puede afectar a la fiabilidad del *Fascicolo del fabbricato*. De hecho, en algunos textos consultados²² al respecto se dice, traducido literalmente del italiano:

“Es evidente que un expediente elaborado con superficialidad es totalmente inútil, y el único resultado que tenemos es que se ha gastado el dinero innecesariamente”.

Por este motivo, dichos especialistas consideran imprescindible establecer unas tarifas mínimas de honorarios para realizar el *Fascicolo del fabbricato*. Estos son razonamientos análogos a los ya comentados anteriormente en las ITE en vigor en España, en que en algunos casos responsables municipales de departamentos ITE han detectado un problema análogo.

En referencia al grado de cumplimiento de esta norma, se han producido diversos retrasos, según algunos especialistas debidos a una insuficiente campaña de información al público, y a una inexistente cultura de la ciudadanía respecto al mantenimiento de los edificios. Estos aspectos son análogos a los ya explicados anteriormente en otros apartados, para el caso de España. En concreto, en algunos textos consultados al respecto se dice, traducido literalmente del italiano:

“El archivo de la construcción ha sufrido varios retrasos debidos en parte a la falta de información que se proporcionó al público, que condujo a la opinión de que el documento era de poco o ningún beneficio; este error de evaluación es también debido en parte al hecho de que en Roma hay presentes edificios, en zonas aún habitadas, construidos hace cientos de años, y esto lleva a creer erróneamente que cada edificio es "eterno". Mientras tanto ha habido más derrumbes y tragedias, que quizás podrían haberse evitado si en estos edificios se hubiera realizado el expediente. Por ejemplo, el desastre que ocurrió en Ventotene en noviembre de 2001.”

Por todo lo referido, según estos especialistas es imprescindible realizar una sólida campaña de información y concienciación de la ciudadanía respecto a la necesidad del mantenimiento de los edificios y las revisiones periódicas. En este marco se han creado frases motivadoras como la siguiente, que se cita traducida literalmente del italiano:

“Es bueno considerar nuestra casa como una máquina que debe ser verificada periódicamente para evitar que ocurran accidentes graves!!”

Cabe decir también que en el año 2006 fue anulado el carácter obligatorio del *Fascicolo del fabbricato*, mediante la sentencia nº 12.320 del 13 de noviembre de 2006, del Tribunal Regional del Lazio, que aceptó la alegación 5.627/04 (Manieri, 2008). Este hecho todavía ha dificultado más el funcionamiento efectivo de dicha norma.

²² Estos textos se han consultado en diversas páginas web, principalmente en www.Fascicolofabbricatotoroma.it.

3.4.3. Ayuntamiento de París

En el caso del ayuntamiento de París se elaboró un “Protocolo sobre el revoque, el mantenimiento, la conservación y preservación de los edificios parisinos”, fruto del acuerdo del ayuntamiento con los profesionales, los propietarios y los administradores de fincas. El acuerdo permite de antemano informarse sobre limitaciones del edificio, la financiación, materiales a utilizar y el estado del mantenimiento, acceder a presupuestos comparados, con técnicos o directores de obra especializados que propondrán los trabajos a realizar conforme a las mejores y más adaptadas técnicas. Los trabajos que se hayan realizado se inscribirán en el libro de mantenimiento del edificio previsto en el Decreto del 30 de mayo de 2001. Existe una obligación legal de reparar los edificios así como de mantenerlos limpios.

La conservación de edificios y de calles, barrios o ciudades enteras va vinculada en casos como el francés a la protección del edificio como *Monument historique (MH)* que es un estatus que otorga el Ministerio Francés de Cultura a un edificio o parte del mismo, conjunto de edificios o algún otro tipo de construcción en base a su importancia histórica o arquitectónica. El título *MH* se puede aplicar tanto a bienes públicos como privados y establece una serie de privilegios así como de obligaciones de cara a su correcta conservación y disfrute público.

Cuando un bien es inscrito o clasificado como *MH* sus gastos de mantenimiento y restauración pueden ser cofinanciados por el Estado hasta en un 40%, permitiendo al propietario (si es privado) la elección del técnico y la empresa que ejecutará la obra, y sometiendo la supervisión de la misma al control de la administración.

Además se permite la deducción del 100% de los gastos de cualquier reforma así como los resultantes de la apertura al público (aunque sea previo pago) del monumento. Cualquier otro tipo de gasto (trabajos no subvencionados, gastos de gerencia, pago a vigilantes, etc.) es deducible en un 50% (100% si está abierto a la visita).

A cambio, el propietario se compromete a informar al Estado con 4 meses de antelación de cualquier intento de reforma, a no destruir ni trasladar el edificio o sus partes, a no vender, ceder, alquilar o regalar el bien sin autorización estatal y a no construir ni modificar construcción existente alguna en un perímetro de 500 m en torno al mismo (campo de co-visibilidad).

Cabe decir que todo lo referido del caso de París, si bien está muy relacionado con el mantenimiento y conservación de edificios, no constituye en sí un sistema comparable a la ITE, al no obligar la Administración de forma sistemática a los propietarios de los edificios a realizar revisiones periódicas de los edificios, sino más bien crear un entorno favorable de protocolos y normas que motiven a los propietarios de los edificios a intervenir voluntariamente en el mantenimiento de los edificios, dando especial énfasis a los edificios catalogados como *MH*.

3.4.4. Ayuntamiento de Londres

En este caso las normas de construcción son normas mínimas dadas por el Parlamento para asegurar la salud y la seguridad de las personas y de los edificios. La conservación, la accesibilidad y facilidades para los minusválidos, los riesgos de incendios y la seguridad de los grandes rascacielos fomentan la aparición de tales normas conocidas como *London Building Acts*.

Cabe decir nuevamente que lo referido en este caso, si bien está relacionado con el mantenimiento y conservación de edificios, no constituye en sí un sistema comparable a la ITE, como en el caso de París.

3.4.5. Ayuntamiento de Quebec

Esta ciudad canadiense de más de 400 años de antigüedad, a principios de los años 60 estaba superpoblada y el parque inmobiliario residencial se encontraba en muy mal estado, motivo por el cual la Administración Local encargó hacer un diagnóstico claro y una vista de conjunto para guiar sus intervenciones frente a la degradación del paisaje urbano y al éxodo de sus habitantes hacia la periferia. El informe Martin (1961-1963) juzgaba que el 40% de las viviendas eran insalubres o necesitaban reparaciones importantes. Las políticas urbanas del ayuntamiento amparado por la propia UNESCO han fomentado una ciudad nueva donde el mantenimiento y la conservación están presentes en la actuación pública y privada.

Cabe decir nuevamente que lo referido en este caso, si bien está relacionado con el mantenimiento y conservación de edificios, donde se inicia con una intervención integral en la ciudad, fuertemente degradada, no constituye en sí un sistema comparable a la ITE, de forma análoga a los dos casos anteriores (París y Londres), sino más bien crear un entorno favorable, donde a través de normas y de una elevada concienciación ciudadana, los propietarios de los edificios realicen voluntariamente el mantenimiento adecuado de los edificios.

3.4.6. Análisis de la investigación realizada

Como se ha visto, prácticamente no hay nada en el extranjero similar a normas ITE, es decir normas de las Administraciones Públicas que obliguen a los propietarios de los edificios a realizar inspecciones periódicas de los edificios (sólo en Roma se ha detectado una norma tipo ITE).

El siguiente paso natural es averiguar la razón de esta ausencia. En especial en el caso de los países altamente desarrollados (tipo Alemania, Dinamarca, Finlandia, Suecia, Suiza, Noruega, Bélgica, Holanda, etc.) el que no exista norma tipo ITE puede resultar a priori sorprendente, pues es de esperar que en estos países tengan desarrolladas todas las normas y mecanismos encaminados a conseguir la mayor calidad de vida posible de la población.

El hecho de que se trata de países altamente desarrollados implica que se deduzca con suficiente grado de certeza que si no tienen norma tipo ITE es sencillamente porque no es necesario. Partiendo de la base evidente que en dichos países los edificios igualmente

necesitan mantenimiento y revisiones periódicas, se trata de saber por qué en estos países los propietarios de los edificios realizan mantenimiento de los edificios y revisiones periódicas, sin necesidad de que las Administraciones les obliguen a través de normas tipo ITE. Con probabilidad existen varias causas que confluyen para explicar este hecho, enumerándose a continuación las que se consideran más plausibles:

- a.- Existencia de cultura del mantenimiento entre la población, habiendo concienciación ciudadana respecto a la necesidad del mantenimiento de los edificios y de las inspecciones periódicas.
- b.- Existencia de diferentes mecanismos que colaboran a motivar a la ciudadanía a realizar mantenimiento e inspecciones periódicas, entre los cuales pueden estar los siguientes:
 - En los documentos contractuales de las Compañías de Seguros aparezca como condición indispensable para mantener la cobertura del seguro del edificio, el que se realicen inspecciones periódicas del edificio por parte de técnico cualificado, y se realicen todas las intervenciones que dictamine el citado técnico. En el mismo sentido se implementen otras medidas por parte de las Compañías de Seguros, como bonificaciones en las tasas para los usuarios que demuestran realizar un adecuado mantenimiento de sus viviendas, y penalizaciones, que se traducen en incremento de las tasas, para los usuarios que no realicen un adecuado mantenimiento.
 - En los contratos de compra-venta o de alquiler se exija como necesario un documento que acredite el buen estado del edificio o vivienda, y de que se han realizado revisiones periódicas por parte de técnico. Relacionado con este punto, está el factor que en estos países el porcentaje de viviendas en régimen de alquiler en comparación con las viviendas de propiedad es elevado, claramente superior al que hay en España.
 - Para dar de alta un suministro (electricidad, gas, teléfono, agua, etc.) se exija como necesario un documento que acredite el buen estado del edificio o vivienda, y de que se han realizado revisiones periódicas por parte de técnico.

Como último razonamiento de tipo general, decir que si en España se diera la circunstancia que los propietarios de los edificios realizaran voluntariamente mantenimiento de los edificios y contrataran periódicamente un técnico para realizar revisiones del edificio, no sería necesaria la existencia de una norma ITE.

3.5. CONCLUSIONES

De lo tratado en este capítulo se desprenden las siguientes conclusiones de utilidad para los siguientes capítulos de la tesis.

- Es necesario hacer mantenimiento preventivo e inspecciones periódicas de los edificios.

- En los informes ITE es necesario disponer de un sistema o escala para valorar la gravedad de las deficiencias existentes en el edificio, lo que entre otras cosas facilita la toma de decisiones en las intervenciones terapéuticas.
- Las escalas para valorar la gravedad de las deficiencias existentes en el edificio son diferentes entre sí según a la norma ITE a que pertenezcan.
- Al hacer los informes ITE existe cierta variabilidad entre los técnicos a la hora de valorar el grado de gravedad de las deficiencias existentes en un edificio. Así por ejemplo en Cataluña, donde como se ha visto se revisan la totalidad de los informes ITE que se hacen por parte de técnicos privados, son numerosos los casos en que los órganos revisores muestran discrepancias sobre la valoración de grado de gravedad de las deficiencias que han hecho los técnicos privados.

CAPÍTULO 4

PROPUESTA DE ESCALA DE GRAVEDAD

4.1. INTRODUCCIÓN

En diferentes ámbitos de la ciencia y de la vida existen numerosas escalas utilizadas para cuantificar variados parámetros. En el marco en que se circunscribe esta tesis, una vez realizada la inspección y el diagnóstico de un edificio, ya sea en el marco general o en el marco más particular del sistema ITE (Inspección Técnica de Edificios), puede ser de gran utilidad el poder cuantificar con un número, el grado de gravedad de los diferentes elementos constructivos que conforman el edificio.

En efecto, como se ha visto en los Capítulos 2 y 3, cuando se inspecciona un edificio resulta de gran utilidad el usar un método para valorar la gravedad de los elementos constructivos, ya que este grado puede abarcar una amplia gama de valores. En esta línea se ha visto en los dos anteriores capítulos que en diversos estudios sobre estado de conservación de edificios o áreas urbanas se utilizan escalas de gravedad, las cuales son diferentes entre sí. Análogamente en todas las normas ITE se debe valorar el grado de gravedad de las deficiencias existentes en el edificio, pero tampoco existe consenso común y estas escalas son diferentes entre sí según a la norma ITE a que pertenezcan.

Así, el objetivo de este capítulo es realizar la propuesta de una escala de gravedad de elementos constructivos en edificios. Este tipo de escala de gravedad facilita notablemente la comprensión del diagnóstico y de sus conclusiones, al establecer con un número la medida de la gravedad de la deficiencia en cuestión, y puede ayudar a la toma de decisiones, a priorizar las intervenciones, y a la propuesta óptima de tratamientos terapéuticos.

4.2. METODOLOGÍA EMPLEADA

Para conseguir el objetivo propuesto se ha seguido una metodología compuesta de las siguientes partes o pasos:

1. Descripción y análisis de escalas existentes de uso generalizado
2. Descripción y análisis de escalas existentes en el ámbito de la construcción
3. Definición de la escala propuesta y descripción de sus características
4. Cálculo de la gravedad total del edificio a partir de las gravedades de los elementos constructivos que forman el edificio
5. Validación de la escala propuesta
6. Propuesta de sistema de evaluación de fachadas

Como primera parte del método, a manera de estado de conocimiento, se requiere estudiar algunas de las escalas existentes, analizando sus características, y aquellos aspectos y criterios que pueden ser de utilidad para diseñar la escala objeto de la tesis. Por el mismo motivo se realiza el estudio de diversas escalas que se han utilizado o se utilizan para evaluar el estado de las construcciones.

Una vez realizados estos análisis, y teniendo en cuenta las particularidades del campo que se debe evaluar en el caso de esta tesis, en la tercera parte del método se pasa a realizar la propuesta de escala, explicar la metodología de aplicación, así como la descripción de sus características. En la cuarta parte del método se calcula la gravedad total del edificio a partir de las gravedades de los elementos constructivos que forman el edificio.

La quinta parte del método tiene por objeto validar la escala propuesta. Para ello se realiza un trabajo de campo en el que se muestran 33 imágenes de elementos constructivos a una población de 374 técnicos, para que les asignen un grado de gravedad G a cada imagen según las definiciones genéricas de la escala propuesta en el paso 3, con objeto de analizar estadísticamente, entre otros aspectos, si entre los técnicos hay alta o baja variabilidad al asignar valores de G .

En la sexta y última parte del método se propone una metodología que tiene por objeto aplicar la escala con el mínimo grado de variabilidad o subjetividad posible. En esta metodología se utilizan una serie de indicadores que son medibles de forma objetiva y que permite hallar el valor de G del elemento considerado con un bajo grado de variabilidad. El método propuesto es de aplicación para fachadas, y se denomina SEF (Sistema de Evaluación de Fachadas).

En las siguientes secciones se van a explicar las cuatro primeras partes del método utilizado, mientras que las partes 5 y 6, debido a su extensión y especificidad, constituyen los Capítulos 5 y 6, respectivamente.

4.3. ESCALAS EXISTENTES DE USO GENERALIZADO

4.3.1. Introducción

Como se ha visto en la anterior sección, parte del método consiste en estudiar algunas de las escalas existentes, para lo que se han seleccionado nueve escalas diferentes. El criterio de selección de las escalas se ha basado en los dos siguientes aspectos fundamentales:

- Sean suficientemente representativas y aceptadas, de uso generalizado en su campo.
- Sean de variados ámbitos de la ciencia, para obtener un enfoque con la mayor perspectiva posible.

En la *Tabla 4.1* se presentan las características principales de las referidas nueve escalas.

Escala	Mide por	Qué mide	Rango de valores	Base de medición	Grado de precisión
Beaufort	Variable	Intensidad del viento	De 0 a 12	Velocidad del viento (Friendly, 1973)	Muy alto
Fujita-Pearson	Variable	Intensidad de un tornado	De F0 a F12	Velocidad del viento (Fujita, 1971)	Muy alto
Douglas	Variable	Estado del mar	De 0 a 9	Altura de la ola (Salvador <i>et al.</i> , 2007)	Muy alto
Richter	Variable	Intensidad de los terremotos	De 0 a 13	Cantidad de energía liberada (Gutenberg <i>et al.</i> , 1954)	Muy alto
Mercalli Modificada	Atributo	Intensidad de los terremotos	De I a XII	Nivel de destrucción provocado (Richter, 1958)	Alto
Mohs	Atributo	Dureza de una sustancia	De 1 a 10	Resistencia a ser rayado (Hofmann <i>et al.</i> , 1980)	Muy alto
EVA	Atributo	Grado de dolor	De 0 a 10	Grado de dolor que marca el paciente en una línea de 10 cm (Von Korff <i>et al.</i> , 1992)	Bajo
Norton	Atributo	Riesgo de padecer úlceras de presión	De 5 a 20	Se puntúa de 1 a 4 en cinco aspectos (estado mental, movilidad, etc.), (Panegiotopoulo <i>et al.</i> , 2002)	Moderado
Glasgow	Atributo	Grados del coma	De 3 a 15	Se puntúan tres aspectos (apertura ocular, respuesta verbal, respuesta motora) (Gabbe <i>et al.</i> , 2003)	Moderado

Tabla 4.1. Escalas existentes estudiadas y características principales

Cabe decir que aparte de las nueve escalas referidas en la tabla, existen algunas escalas más relacionadas con algunas de las citadas. De esta forma, respecto a la dureza de una sustancia, además de la escala de Mohs, también están la escala de Rosiwal y la de Knoop, que también son de aplicación para la clasificación de la dureza de una sustancia.

Análogamente, respecto al grado del dolor, además de EVA (escala visual analógica), también está la escala numérica (EN) y la escala categórica (EC), ambas también de uso para clasificar el grado del dolor, pero que en definitiva son una simplificación de EVA, al reducir el número de valores posibles. En la misma línea también existe la escala visual analógica de mejora.

4.3.2. Análisis de las escalas existentes de uso generalizado

Se considera que la *Tabla 4.1* es fácilmente comprensible, pero conviene explicar la última columna, sobre grado de precisión para asignar valores, aspecto importante para el estudio que se realiza en este capítulo. Así, en las primeras 4 escalas se miden **variables**, que son fácilmente medibles con el instrumental adecuado, por lo que el grado de certeza para asignar valores es muy alto. En las 5 escalas restantes se miden **atributos**, que en algún caso son fácilmente medibles, como pasa en la escala Mohs, pero en algún otro caso la medición de los atributos puede presentar elevada variabilidad o subjetividad, como pasa en la escala EVA.

Como ejemplos de lo referido en la medición de **variables**, en la escala Beaufort sobre la intensidad del viento los diferentes valores de la escala se establecen en función de la velocidad del viento (en km/h o en nudos). Por ejemplo, el número de Beaufort 3 corresponde a vientos con velocidades comprendidas entre 12 y 19 km/h. Es decir, que a un viento de 14 km/h le corresponde un grado 3, y no un grado 2 ni un grado 4. Análogamente, el parámetro a medir, la velocidad del viento, es fácilmente medible con precisión con el instrumental adecuado (por ejemplo un anemómetro). Por este motivo en la tabla le corresponde un grado muy alto de precisión para establecer valores.

En el otro extremo, medición de **atributos**, se tiene la escala EVA sobre los diferentes grados del dolor. En esta escala tan sólo se definen los grados extremos, es decir, que el valor 0 significa ausencia de dolor y el valor 10 significa máximo dolor posible o imaginable, pero no existe ninguna definición para los grados intermedios. La metodología para aplicar EVA consiste en utilizar un segmento de 10 cm, los extremos del cual están delimitados por marcas que indican las expresiones extremas de un síntoma, que en el caso del dolor es “sin dolor” y “peor dolor posible o imaginable”. Se le pide al paciente que marque un punto en la línea que refleje la intensidad de su dolor, y posteriormente se mide la distancia en centímetros desde el extremo sin dolor hasta el punto marcado, tal y como se representa en la *Figura 4.1*.

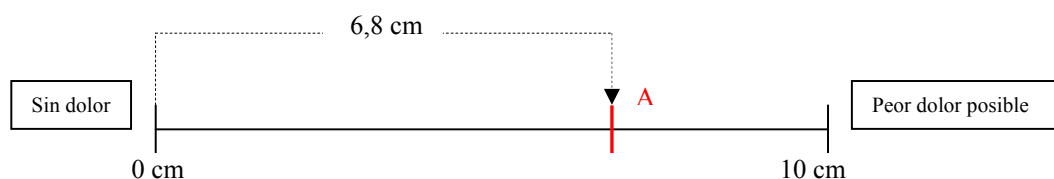


Figura 4.1. Ejemplo de aplicación de la Escala Visual Analógica (EVA)

En el ejemplo de la *Figura 4.1* el paciente ha marcado el punto A, que está a 6,8 cm del extremo izquierdo. Por tanto le corresponde un valor de EVA = 6,8. Así, a diferencia de otras de las escalas estudiadas, en EVA no hay una definición precisa por ejemplo para grado 5 o grado 6, y es el paciente el que debe marcar sobre la línea de 10 cm en función de lo que estime oportuno sobre la intensidad del dolor que padece.

Esto es razonable que así sea, ya que el atributo que se valora en EVA, grado del dolor, no es clasificable en base a unos parámetros fácilmente medibles, como pasa en otras escalas, y es inevitable que tenga cierto grado de subjetividad o variabilidad. Así por ejemplo, no es posible establecer una definición descriptiva, precisa y fácilmente medible del grado 5 de dolor, y que quede definido claramente qué aspectos hacen que un dolor se clasifique con grado 5 y no por ejemplo con grado 4 ó 6. De esta manera puede pasar perfectamente que dos pacientes que sufran un dolor de la misma intensidad, marquen diferentes grados en EVA. Por este motivo en la tabla le corresponde en la última columna un grado bajo de precisión para asignar valores.

Cabe resaltar además, que en la escala EVA se pueden poner decimales a pesar del elevado grado de subjetividad de la escala. Y que el hecho que se permita utilizar un número indeterminado de decimales es considerado por los investigadores del sector como un aspecto muy positivo de la escala en conferirle un alto grado de sensibilidad (Von Korff, et al., 1992). Lo expuesto ilustra la disparidad de criterios que puede haber a la hora de analizar una misma variable, ya que en una escala tan subjetiva como es EVA, el hecho de poder introducir decimales es conferirle un grado de precisión que escapa a toda verosimilitud.

De las 5 últimas escalas (en la *Tabla 4.1*), que miden atributos, en la escala de Mohs la asignación de valores se realiza con un grado de certeza muy elevado. En la escala que se va a proponer, a priori esto no es así, ya que valorar el grado de gravedad de un elemento constructivo (ya sea una viga, un balcón, una cornisa, una pared de carga, etc.) puede estar sujeto a cierto grado de variabilidad.

Por tanto, las escalas que a priori pueden resultar de más utilidad para el objetivo del presente capítulo son las escala de Mercalli Modificada, la escala EVA, la escala Norton y la escala Glasgow, en especial las 3 últimas (asociadas al campo de la medicina), por tener también cierto grado de variabilidad para asignar valores en el diagnóstico de personas, algunas de ellas, en condiciones de urgencias. Este campo tiene importantes similitudes conceptuales con el campo en el que es de aplicación la escala que se va a proponer, el diagnóstico de elementos constructivos.

4.4. ESCALAS EXISTENTES EN EL ÁMBITO DE LA CONSTRUCCIÓN

4.4.1. Introducción

Tras la descripción y análisis de las escalas en el ámbito general, y siguiendo en el planteamiento de estado del conocimiento, en el presente apartado se realiza la descripción y análisis de escalas del ámbito de la edificación, lo cual, aparte de por razones metodológicas, es de utilidad para conseguir uno de los objetivos de la tesis, que es realizar

una propuesta de escala de gravedad de elementos constructivos en edificios, La descripción y análisis de escalas se ha extendido al ámbito de los puentes, por las similitudes conceptuales en los sistemas de evaluación.

El orden de exposición utilizado en este apartado es comenzar por las escalas del ámbito de la edificación (8 escalas), para seguir con las escalas del ámbito de los puentes (5 escala), empezando por las escalas más simples con menor número de valores, para acabar por las escalas más complejas con mayor número de valores.

Debido a que en general estas escalas no tienen ningún nombre identificatorio, a diferencia de las nueve escalas estudiadas en el apartado anterior que sí lo tienen (Boufort, EVA, Richter, etc.), las escalas se nombran en base a una breve descripción, añadiendo entre paréntesis la correspondiente referencia. En la *Tabla 4.2* se presentan de forma resumida las referidas escalas, con sus principales características. En la 3ª columna (elemento valorado) se utiliza la notación (EC) cuando se valoran elementos constructivos, y la notación (CC) cuando se valora el conjunto de la construcción. En la última columna (método de aplicación), se utiliza la notación (AD) para el método de asignación directa de valores, y la notación (AFM) para el método de aplicación de funciones matemáticas o algoritmos para la obtención de valores.

En la 4ª columna (qué mide) se ha respetado el nombre del valor que propone cada escala, pero en realidad todos estos diferentes nombres (grado de deterioro, grado de gravedad, grado de deterioro físico, índice de estado) son básicamente sinónimos entre sí.

4.4.2. Análisis de escalas existentes en el ámbito de la construcción

De las 13 escalas de la *Tabla 4.2* se observa que hay significativas diferencias entre las mismas, con respecto a los indicadores utilizados. Así con respecto a las diferencias en el **rango de valores**, cabe señalar que el mismo va de 3 a 100 valores; entiéndase que un rango de 3 valores es demasiado pequeño como para poder quedar representadas las diferentes casuísticas y grados de gravedad, mientras que por otro lado, un rango de 100 valores se considera excesivo, poniendo en duda la apreciación humana de la diferencia cualitativa entre un valor y el siguiente ya que es casi inapreciable. Dado que lo que se trata de valorar en este capítulo son atributos (grado de gravedad de elementos constructivos) a priori difusos y sujetos a cierto grado de variabilidad, el poder precisar muy pequeñas diferencias cualitativas entre valores es algo que no es verosímil.

Otra de las diferencias observadas es respecto al **método de aplicación** para determinar el valor: asignación directa (AD) o aplicación de funciones matemáticas o algoritmos (AFM). Se considera que el primer método tiene la ventaja de ser de más fácil y rápida utilización por parte del técnico, mientras que tiene la desventaja de poder producirse una mayor variabilidad en la asignación de valores. El segundo método tiene la desventaja de ser más laborioso y complejo de aplicar por parte del técnico, mientras que tiene la ventaja de reducir el grado de variabilidad. Así pues, en la escala a proponer puede ser positivo que sea flexible para que los dos métodos puedan aplicarse. El técnico aplicará un método o el otro dependiendo del objeto del estudio a realizar, y del grado de precisión y de tiempo que se estime adecuado dedicar al mismo.

Escala	Ámbito de aplicación	Elemento valorado	Qué mide	Rango de valores	Método de aplicación
ITE de Cataluña (Decreto 187/2010)	Edificios	EC	Grado de deterioro de elementos constructivos	3 grados	AD
		CC	Grado de deterioro global del edificio	4 grados	
MEDIC (Flourentzou, et al., 2000)	Edificios	EC	Grado de deterioro de 50 elementos del edificio	4 grados	AD
ITE de Palma de Mallorca (*)	Edificios	EC	Grado de deterioro	De 1 a 5	AD
Vilanova i la Geltrú (Ruiz, 2005)	Edificios	EC	Grado de gravedad de fachadas	De 0 a 5	AD
Hospitalet de Llobregat (Serrat, et al., 2009)	Edificios	EC	Grado de gravedad de fachadas	De 0 a 6	AD
Venezuela (Roche, 2008)	Edificios	EC y CC	Grado de adecuación de una vivienda	Valor resultante de AFM	AFM
Elhakeem, A. y Hegazy, T. (Elhakeem y Hegazy, 2012)	Edificios	EC y CC	Grado de gravedad	De 0 a 100	AD
ANAH Francia (ANAH, 2010)	Edificios	EC y CC	Grado de deterioro físico	De 0,00 a 1,00 (100 valores posibles)	AD y AFM
Comunidad de Madrid (León, 2006)	Puentes	CC	Grado de gravedad	De 1 a 6	AD
Alemania (BRIME, 1999)	Puentes	EC y CC	Índice de estado	De 1.0 a 4.0 (30 valores posibles)	AD
Austria (BRIME, 1999)	Puentes	EC y CC	Índice de estado	De 0 a 70	AD y AFM
SAMARIS (SAMARIS, 2005)	Puentes	EC y CC	Índice de estado	Valor resultante de AFM	AD y AFM
Geocisa	Puentes	EC y CC	Índice de estado	De 0 a 100	AD y AFM

(*) Ordenanza Municipal sobre la Inspección Técnica de Edificios, de 22 de diciembre de 2004

Tabla 4.2. Escalas del ámbito de la construcción estudiadas y características principales

En lo que sigue se remarcan algunos aspectos contemplados en las 13 escalas descritas que pueden ser de interés y utilidad para la propuesta a realizar.

- Determinar la evolución del grado de gravedad de un elemento constructivo (escala para evaluar grado de gravedad de fachadas en Vilanova i la Geltrú).
- Asignar diferentes colores a cada grado de gravedad, con objeto de facilitar la comprensión de los resultados mediante la representación gráfica de los elementos constructivos estudiados (escala para evaluar grado de gravedad de fachadas en Vilanova i la Geltrú).
- Dividir el elemento total a estudiar, ya sea un edificio o un puente, en diferentes partes principales (escala para evaluar el grado de adecuación de viviendas en Venezuela; escalas utilizadas en Alemania y en Austria para evaluar el estado de puentes). En dos de las escalas descritas, el edificio o el puente se dividen en 8 partes principales.
- A partir del grado de gravedad asignado a cada elemento constructivo, determinar el índice de deterioro total del edificio mediante expresión matemática (escala propuesta por Elhakeem, A. y Hegazy, T.).
- En la evaluación de la gravedad, tener en cuenta 3 criterios, que son: nota de estado; extensión de las disfunciones; proporción de los elementos afectados (escala propuesta por ANAH).
- Dar ejemplos de la evaluación del índice de estado (escala utilizada en Alemania para evaluar el estado de puentes).
- Definir diferentes tipos de inspección, según si esta es superficial, mayor, etc. (escalas utilizadas en Alemania y en Austria para evaluar el estado de puentes).

4.5. PROPUESTA DE ESCALA DE GRAVEDAD

4.5.1. Introducción

La escala que se propone tendrá por objeto valorar numéricamente el grado de gravedad de elementos constructivos en edificios, y se requiere que cumpla las siguientes funcionalidades y características:

- Sirva para evaluar la gravedad de cualquier tipo de elemento constructivo en edificios (fachadas, vigas, pilares, paredes de carga, etc.)
- Facilidad de utilización por parte de los técnicos con resultados comprensibles
- Baja variabilidad entre los técnicos al valorar el grado de gravedad

- Los valores de gravedad obtenidos de elementos constructivos permitan calcular la gravedad del conjunto del edificio, si se precisase

Análogamente se ha considerado adecuado que tenga las siguientes características:

- El rango de valores de la escala sea de 0 a 10, como pasa en otras escalas y métodos de valoración (como en el ámbito de la evaluación académica entre otros ejemplos), por ser de fácil comprensión. Igualmente se considera que el número de valores es suficiente para que queden adecuadamente representadas las diferentes casuísticas y grados de gravedad, y no es excesivo porque la diferencia cualitativa entre dos valores consecutivos, todo y ser pequeña, es suficientemente apreciable.
- Utilizar el método de valoración ascendente, es decir que el concepto a valorar (grado de gravedad de un elemento constructivo) vaya de menos a más. Así a valores bajos les corresponden bajos grados de gravedad y a valores altos les corresponden altos grados de gravedad. Este método de valoración se considera más comprensible, y es utilizado en numerosas escalas y sistemas de valoración.
- La escala empiece por el valor 0 (y no por ejemplo con el valor 1 u otro escalar). Como se ha visto, diversas escalas empiezan por el valor 0.

4.5.2. División del edificio en diferentes sistemas

Con objeto de que el método de exposición vaya de más general a más particular, se explica a continuación la propuesta de división del edificio en diferentes sistemas. Esta propuesta se utiliza para calcular la gravedad total del edificio, y el explicarla ya de inicio ayuda a entender la metodología empleada.

Se propone dividir el edificio en diferentes sistemas que engloben todas las partes que conforman el mismo. Con objeto de dar flexibilidad a la metodología se propone que el número total de sistemas (S) y la definición de los mismos puedan ser elegidos por el técnico que realiza el estudio del edificio, por lo que el método propuesto es de aplicación general.

Cabe decir que en la bibliografía y en los métodos consultados, no existe consenso común a la hora de dividir el edificio en sistemas, y en todos estos casos el número y definición de sistemas que componen el edificio son diferentes. Así son distintos los sistemas del edificio según si el método empleado es la ITE de Cataluña, el método Roche, el método ANAH, etc. Análogamente sucede con la división de sistemas en los puentes, habiendo diferencias según el método empleado.

Dicho esto, con objeto de proponer un modelo concreto a seguir, se ha considerado oportuno proponer una división razonable del edificio en los sistemas que se presentan en la *Tabla 4.3*.

Sistema	Descripción	Principales partes constituyentes
1	Fachadas	Revestimientos, material base, voladizos, cornisas, ventanas y otras aberturas practicables, barandillas, balaustradas, elementos ornamentales, etc.
2	Estructura vertical	Pilares, paredes de carga, cimentación, etc.
3	Estructura horizontal	Vigas, entrevigado, bóvedas, arcos, etc.
4	Cubiertas y patios interiores	Tejas, pavimentos en cubiertas planas, impermeabilizaciones, aislamientos térmicos, claraboyas, paredes y aberturas practicables de patios interiores, etc.
5	Elementos constructivos interiores	Tabiques, paredes interiores, aberturas practicables, pavimentos, revestimientos interiores, etc.
6	Cajas de escalera	Paredes, estructura de la escalera, peldaños, barandillas, etc.
7	Instalaciones de saneamiento	Bajantes, desagües, canalones, etc.
8	Otras instalaciones	Electricidad, agua, gas, ascensores, etc.

Tabla 4.3. Modelo de sistemas a evaluar en la escala propuesta

Como unidad más pequeña a valorar se propone el concepto de zona, que se define como una parte concreta de un elemento constructivo, como por ejemplo una zona de un forjado de vigas de madera, una zona de fachada, una zona de un forjado de vigas de hormigón armado, una zona de un balcón, etc. En la *Figura 4.2* se presentan algunas imágenes que representan lo que aquí se denomina zona.



Figura 4.2. Imágenes de zonas de elementos constructivos

4.5.3. Metodología de aplicación de la escala propuesta

El objeto de este apartado es explicar la metodología de aplicación de la escala propuesta. Esta metodología de aplicación, que tiene varias variantes (a, b y c) según el objeto del estudio a realizar, se presenta de forma esquemática en la *Figura 4.3*.

Como se puede observar en dicha figura, la metodología se inicia mediante el método de asignación directa (AD) en base a las definiciones genéricas de la escala propuesta, a través del cual se asigna el grado o índice de gravedad (G) a zonas j del edificio. En la denominada variante (a), aquí acaba el proceso, lo cual será en los casos en los que el objeto del estudio sea valorar la gravedad de diferentes zonas del edificio, o análogamente, valorar deficiencias existentes en el edificio, pero en que no sea necesario valorar la gravedad global de un sistema o del conjunto del edificio.

El siguiente paso de la metodología, cuando se precise, es valorar la gravedad de uno o varios sistemas, para lo cual existen las denominadas variantes (b) y (c). En la variante (b) se utiliza el método de asignación directa (AD) en base a las definiciones genéricas de la escala propuesta, a través del cual se asigna el grado de gravedad al sistema considerado. En la variante (c) se utiliza un método de cálculo a partir de los valores G_j que componen el sistema, lo que permite calcular el grado de gravedad $G^{(s)}$ al sistema considerado.

El siguiente paso de la metodología, cuando se precise, es valorar la gravedad del conjunto del edificio, para lo cual existen las denominadas variantes (b) y (c). En la variante (b) se utiliza el método de asignación directa (AD) en base a las definiciones genéricas de la escala propuesta, a través del cual se asigna el grado de gravedad al conjunto del edificio. En la variante (c) se utiliza un método de cálculo a partir de los valores $G^{(s)}$ de cada sistema, lo que permite calcular el grado de gravedad del conjunto del edificio.

La variante (b) se dará en aquellos casos en que en el objeto del estudio sea tal que en el mismo se deba dedicar un tiempo limitado. Algunos de estos casos pueden ser los siguientes:

- Estudio global de un área urbana, en que se debe valorar el grado de gravedad de cientos o miles de fachadas. En este caso es razonable determinar el grado de gravedad de cada fachada en base al método de asignación directa.
- Intervenciones de urgencia, como por ejemplo de técnicos municipales o bomberos, en casos de graves lesiones con posible riesgo para las personas. En estos casos, si se precisa determinar el grado de gravedad de un sistema o del edificio, es razonable determinarlo en base al método de asignación directa.

La variante (c) se dará en el resto de casos en que se precise determinar el grado de gravedad de un sistema o del edificio.

En los siguientes apartados y secciones que componen el presente capítulo, el orden de exposición es el mismo que el orden de aplicación del método por parte de un técnico, que se ha visualizado en la *Figura 4.3*. Así, se empieza por presentar la escala propuesta, que es lo primero que utiliza el técnico para asignar grados de gravedad a zonas del edificio, para seguir con el método de cálculo del grado o índice de gravedad de sistema, y acabar con el método de cálculo del grado o índice de gravedad del edificio.

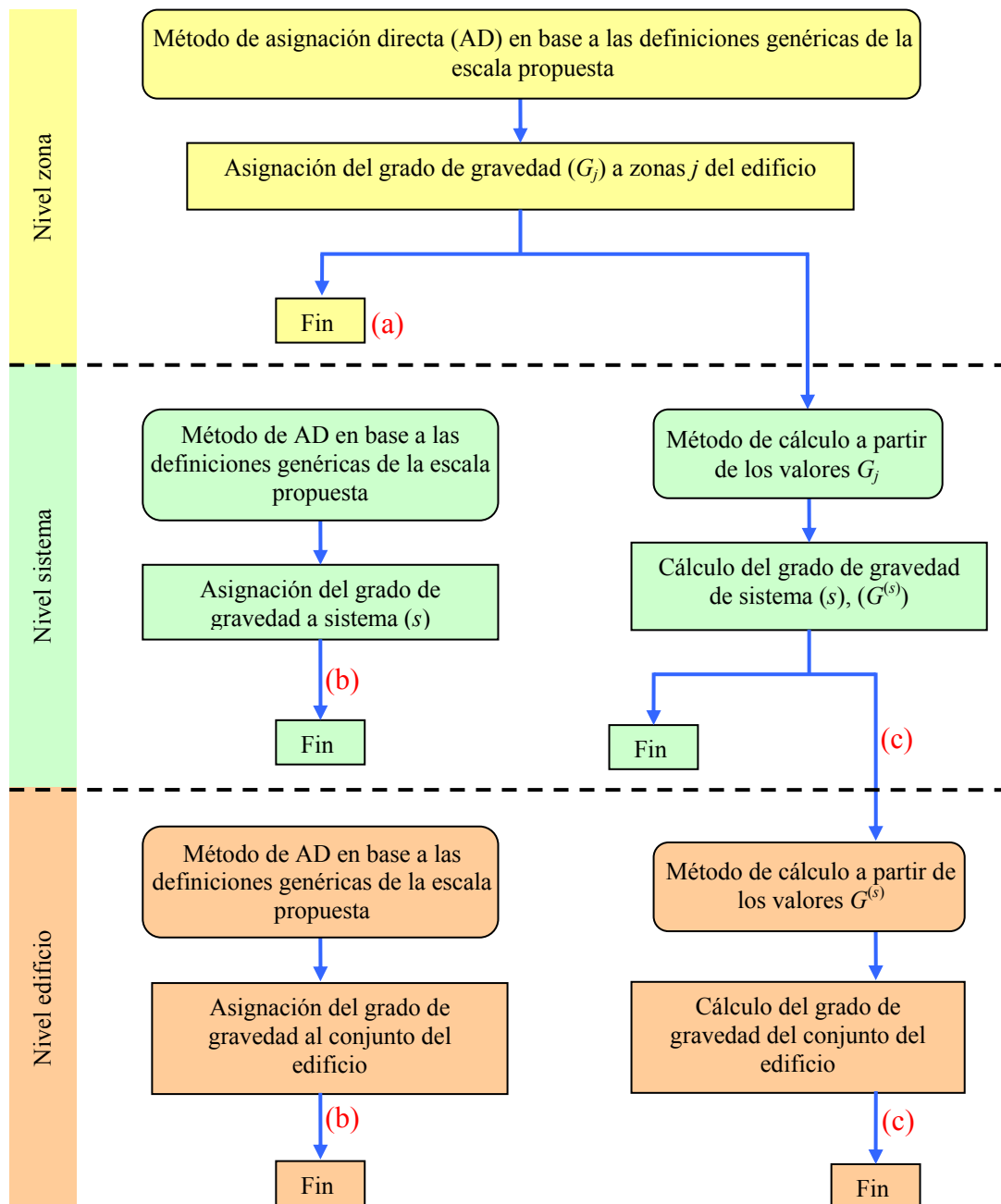


Figura 4.3. Metodología de aplicación de la escala propuesta

4.5.4. Escala Propuesta

Para medir el **grado de gravedad** (G) se propone una escala que va desde valor 0 (gravedad nula y el elemento constructivo está en perfecto estado) hasta valor 10 (gravedad extrema; no es concebible una gravedad superior; lesión en fase terminal; el colapso se puede producir en cualquier momento).

En la *Tabla 4.4* se define la escala propuesta, explicando en cada grado de forma general lo que significa o representa en aras a reducir la variabilidad entre técnicos diferentes a la hora de asignar valores.

G	Gravedad	Definición
0	Nula	El elemento constructivo está en perfecto estado de conservación.
1	Muy baja	Primeros indicios de deterioros muy leves.
2	Muy baja-baja	Deterioros muy leves.
3	Baja	Deterioros leves. Empieza a ser recomendable revisión de mantenimiento.
4	Baja-moderada	Degradaciones de entidad entre leve y moderada. Recomendable revisión de mantenimiento y tratamientos terapéuticos superficiales.
5	Moderada	Degradaciones moderadas. Recomendable revisión y tratamientos terapéuticos de entidad moderada.
6	Moderada-alta	Degradaciones de entidad entre moderada y grave. Necesarios tratamientos terapéuticos de entidad entre moderada y alta, a medio-breve plazo.
7	Alta	Existencia de lesiones graves, en fase avanzada. Necesarios tratamientos terapéuticos de entidad alta, en breve plazo. Si el elemento evaluado es la estructura general del edificio, o un forjado, empieza a ser recomendable el desalojo del edificio o vivienda, y/o la toma de medidas provisionales de anestesia estructural, como apuntalamientos o similar.
8	Alta-muy alta	Existencia de lesiones de entidad entre grave y muy grave, en fase muy avanzado. Necesarios tratamientos terapéuticos de entidad alta a muy alta, en muy breve plazo. Debido a la gravedad de los daños, empieza a ser recomendable la sustitución del elemento dañado. Si el elemento evaluado es la estructura general del edificio, o un forjado, es necesario el desalojo del edificio o viviendas, y/o la toma de medidas provisionales de anestesia estructural, como apuntalamientos o similar.
9	Muy alta	Existencia de lesiones muy graves, en fase entre muy avanzado y terminal. El elemento constructivo analizado está tan gravemente afectado, que el tratamiento terapéutico más adecuado es su sustitución. Si el elemento evaluado es la estructura general del edificio, o un forjado, es necesario el desalojo inmediato del edificio o viviendas. Los daños son tan graves, que se hace difícil tomar medidas provisionales de anestesia estructural.
10	Extrema	No es concebible una gravedad ni un riesgo superior. Existencia de lesiones en fase terminal, y el colapso se puede producir en cualquier momento. El elemento constructivo analizado está tan devastado, que prácticamente el único tratamiento terapéutico posible es su sustitución. Si el elemento evaluado es la estructura general del edificio, o un forjado, es necesario el desalojo inmediato del edificio o viviendas. Los daños son tan graves, que se hace muy difícil tomar medidas provisionales de anestesia estructural.

Tabla 4.4. Propuesta de escala de gravedad de elementos constructivos

Forma de aplicar

La forma de aplicar la escala es mediante el método de **asignación directa** en base a las definiciones genéricas que se dan para cada valor de G . Para reducir la variabilidad entre técnicos, se plantea formar al potencial técnico usuario de la escala con unos ejemplos de puesta a punto. Estos ejemplos constarían de imágenes de elementos constructivos con los valores de G que les corresponden en base a las definiciones de la escala. En caso de implantación masiva, ello podría acompañarse de curso de formación on-line o presencial.

Evolución de la salud de un elemento constructivo

La utilización de la escala puede permitir determinar numéricamente la evolución de la salud de un elemento constructivo, a través de comparar los valores de G para dicho elemento en diferentes momentos (diferentes valores de t). De esta manera, a través de establecer las correspondientes relaciones entre el valor de G para t_0 (G_{t_0}), el valor de G para t_1 (G_{t_1}),..., el valor de G para t_i (G_{t_i}), se puede conocer cómo evoluciona la salud del elemento constructivo a lo largo del intervalo $[t_0, t_i]$.

Para valorar con un escalas dicha evolución, se propone utilizar el coeficiente de evolución (C_{ev}), que se define de la siguiente manera:

$$C_{ev} = \frac{G_{t_i}}{G_{t_0}} \quad (4.1)$$

donde,

- C_{ev} = coeficiente de evolución entre los valores de G . Representa la evolución del estado del elemento constructivo en el intervalo $[t_0, t_i]$
- G_{t_i} = grado de gravedad del elemento constructivo correspondiente a t_i
- G_{t_0} = grado de gravedad del elemento constructivo correspondiente a t_0

De la expresión (4.1) se deduce de forma elemental lo siguiente:

- Si $C_{ev} > 1$ significa que el estado del elemento constructivo empeora en el intervalo $[t_0, t_i]$
- Si $C_{ev} < 1$ significa que el estado del elemento constructivo mejora en el intervalo $[t_0, t_i]$ (porque se ha realizado rehabilitación, o se ha derribado el edificio y se ha construido uno nuevo, etc.)
- Si $C_{ev} = 1$ significa que el estado del elemento constructivo no varía en el intervalo $[t_0, t_i]$

Con el mismo criterio se puede determinar numéricamente la eficacia de un tratamiento terapéutico, mediante la comparación del valor de G antes de la intervención (G_{i_0}) y el valor de G después de la intervención (G_{i_f}).

Mapas y colores

Con objeto de facilitar la visualización de la distribución de gravedades de un elemento constructivo se propone que se puedan realizar mapas con curvas de nivel de las diferentes G que tiene un elemento constructivo, ya sea este una viga, o todo un forjado, etc. Para una mayor visualización, se propone que a cada valor de G se le asocie un color, tal como se muestra en la *Figura 4.4*.

G	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
color											

Figura 4.4.- Propuesta de colores asociados a los diferentes grados de gravedad

Cabe decir que los colores que se proponen en la *Figura 4.4* son análogos a los utilizados en diversos campos, como en el Método de Elementos Finitos (MEF), en la Calificación de la Eficiencia Energética en edificios, en la distribución de la pluviosidad en el territorio, etc.

En la *Figura 4.5* se muestra un ejemplo de aplicación de la propuesta de colores por gravedades a un forjado genérico. Dicho forjado se compone de vigas y entrevigado, y para el objetivo perseguido en este ejemplo es indiferente el material y tipología de las vigas y entrevigado. En la primera imagen se aprecia el forjado con los distintos valores G_j que se han aplicado por asignación directa a las diferentes zonas del forjado, en base a las definiciones genéricas de la escala de la *Tabla 4.4*, y en la segunda imagen se realiza la aplicación de colores propuesta en la *Figura 4.4*, quedando de manifiesto la utilidad del sistema al facilitar la visualización de la gravedad y de la distribución de gravedades del elemento constructivo analizado, en este caso un forjado.

4.5.5. Consideraciones adicionales según el elemento constructivo evaluado

Introducción

Como se ha referido, la escala propuesta es de aplicación a cualquier elemento constructivo de edificios, ya sea fachada, viga de madera, pared de carga de tapia, pared de carga de ladrillo macizo, etc., por lo que las definiciones de cada grado G de la escala que se dan en la *Tabla 4.4* son necesariamente de tipo genérico.

En este apartado se explican con más detalle los criterios de asignación de valores G dependiendo del tipo de elemento constructivo analizado. El objeto de realizar estas explicaciones de más detalle es reducir el grado de variabilidad que pueda haber entre los técnicos en el momento de realizar la asignación directa de valores G . Así, en este apartado se van a realizar las referidas explicaciones adicionales para el caso en que el elemento constructivo sea una fachada. Los criterios que se exponen son parcialmente extrapolables a otros tipos de elementos constructivos.

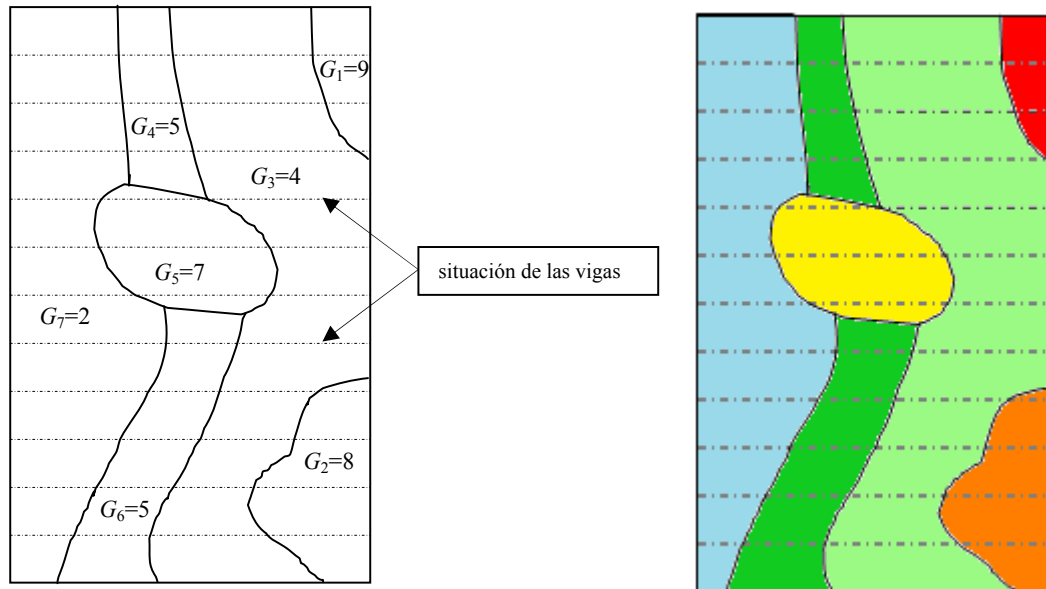


Figura 4.5.- Ejemplo de aplicación a forjado, de colores asociados a valores de G

Fachadas

Aquí se realiza una descripción de más detalle del criterio de asignación directa de valores G , cuando el elemento a evaluar es la fachada de un edificio (*Tabla 4.5*). Se propone que se tengan en cuenta dos parámetros principales, que son los siguientes:

1. Probabilidad de que se produzca el suceso de interés, que en general será la probabilidad de que se produzca un desprendimiento de fachada, ya sea del revestimiento, o de un balcón, o de una cornisa, etc. Así, según este parámetro, a mayor probabilidad de que se produzca un desprendimiento, corresponderá un valor de G mayor.
2. Energía de impacto que puede producir el desprendimiento. Para ilustrar la importancia de este segundo parámetro se va a utilizar un ejemplo. Supongamos una fachada donde haya un deterioramiento del revestimiento superficial de la capa de pintura, y que exista una muy alta probabilidad de que se produzca el desprendimiento de una parte de la pintura. Claramente en este caso le corresponderá un valor de G muy bajo, tal vez $G = 1$, a pesar que la probabilidad de desprendimiento es muy elevada. Y es que en este ejemplo, si se produjera el desprendimiento de una parte de la capa de pintura de la fachada y cayera sobre un peatón, no le producirá ningún daño, y como mucho le ensuciará algo, es decir, consecuencias de muy baja relevancia.

En cambio, supongamos otra fachada donde la probabilidad de desprendimiento sea inferior a la del anterior ejemplo, pero que en caso de producirse el desprendimiento caería un elemento de piedra de 5kg desde una altura de 15m. Claramente en este caso le correspondería un valor de G muy superior a la anterior, aunque tenga una menor probabilidad de que se produzca el desprendimiento. Y es que en este caso, a diferencia del anterior ejemplo, si se produjera el

desprendimiento y cayera sobre un peatón, las consecuencias serían muy graves, al ocasionar víctima mortal.

Así, según este parámetro, a mayor energía de impacto del desprendimiento, corresponderá una *G* mayor. Para evaluar la energía de impacto, se propone que se tengan en cuenta dos parámetros fundamentales, uno de los cuales es la masa del objeto, y el otro la altura a la que esté situada el objeto, y por tanto la altura desde la que puede caer. Y es que la energía del impacto depende de la masa del objeto y de la altura de la que cae.

En base a lo explicado, se propone la escala que se adjunta en la *Tabla 4.5*, con unas definiciones más específicas respecto a fachadas que la escala de uso general de la *Tabla 4.4*. Lo tratado en este apartado de forma orientativa se trata con detalle en el Capítulo 6, donde se propone un sistema de evaluación de fachadas (SEF), basado en la aplicación de indicadores y funciones matemáticas.

<i>G</i>	Gravedad	Definición
0	Nula	La fachada está en perfecto estado de conservación.
1	Muy baja	Primeros indicios de deterioros muy leves y superficiales. En caso de producirse algún desprendimiento este sería de entidad muy leve, como por ejemplo parte de capa de pintura.
2	Muy baja-baja	Deterioros muy leves y superficiales. Puede haber algunas zonas con deterioramiento superficial del revestimiento. En caso de producirse algún desprendimiento este sería de entidad leve, como por ejemplo parte de revestimiento de mortero o similar, de poco grosor y muy poca masa.
3	Baja	Deterioros leves y superficiales. Puede haber algunas zonas con deterioramiento superficial del revestimiento, grietas superficiales, etc. En caso de producirse algún desprendimiento este sería de entidad entre leve y moderada, como por ejemplo parte de revestimiento de mortero o similar, de poco grosor y poca masa. Empieza a ser recomendable revisión de mantenimiento.
4	Baja-moderada	Degradaciones de entidad entre leve y moderada. Puede haber zonas donde falte el revestimiento, y otras donde el revestimiento esté deformado y agrietado. En caso de producirse algún desprendimiento este sería de entidad entre leve y moderada, como por ejemplo parte de revestimiento de mortero o similar, de cierto grosor y cierta masa. Recomendable revisión de mantenimiento y tratamientos terapéuticos superficiales.
5	Moderada	Degradaciones moderadas. Puede haber amplias zonas de la fachada sin revestimiento, y otras donde el revestimiento esté deteriorado de forma importante. En caso de producirse algún desprendimiento, este sería de entidad moderada, como por ejemplo parte de revestimiento de mortero o similar, de cierto grosor y cierta masa. En caso que una persona reciba impacto de desprendimiento, esta sufrirá daño moderado. Recomendable revisión y tratamientos terapéuticos de entidad moderada. Puede empezar a ser recomendable la toma de medidas provisionales de seguridad, como colocación de redes o similar.
6	Moderada-alta	Degradaciones de entidad entre moderada y grave. Puede haber amplias zonas de la fachada sin revestimiento, y otras donde el revestimiento esté deteriorado de forma muy importante. El material base de la fachada y de elementos de la fachada (balcones, cornisas, etc.) puede tener degradaciones considerables. En caso de producirse algún desprendimiento este sería de entidad entre moderada y grave, como por ejemplo parte de revestimiento de mortero o similar y parte de material base, de apreciable valor masa-altura. En caso que una persona reciba impacto de desprendimiento, esta sufrirá daño grave. Necesarios tratamientos terapéuticos de entidad entre moderada y alta, a medio-breve plazo, y/o la toma de medidas provisionales de seguridad, como colocación de redes o similar.

7	Alta	Existencia de degradaciones graves, que afectan tanto al revestimiento como al material base. Elevada probabilidad de producirse desprendimiento, que sería de entidad grave, de elevado valor masa-altura. En caso que una persona reciba impacto de desprendimiento, esta sufrirá daño muy grave. Necesarios tratamientos terapéuticos de entidad alta, en breve plazo, y/o la toma de medidas provisionales de seguridad, como colocación de redes o similar.
8	Alta-muy alta	Existencia de lesiones de entidad entre grave y muy grave, que afectan gravemente al material base. Muy elevada probabilidad de producirse desprendimiento, que sería de entidad entre grave y muy grave, de elevado-muy elevado valor masa-altura. En caso que una persona reciba impacto de desprendimiento, esta sufrirá daños extremos, posiblemente la muerte. Necesarios tratamientos terapéuticos de entidad alta a muy alta, en muy breve plazo, y/o la toma de medidas provisionales de seguridad, como colocación de redes o similar. Debido a la gravedad de los daños, empieza a ser recomendable la sustitución del elemento dañado.
9	Muy alta	Existencia de lesiones muy graves, que afectan muy gravemente al material base. Muy elevada probabilidad de producirse desprendimiento, que sería de entidad muy grave, de muy elevado valor masa-altura. En caso que una persona reciba impacto de desprendimiento le producirá la muerte segura. El elemento constructivo analizado está tan gravemente afectado, que el tratamiento terapéutico más adecuado es su sustitución. Se debe intervenir terapéuticamente de forma inmediata.
10	Extrema	No es concebible una gravedad superior. Existencia de lesiones en fase terminal, y el colapso de una parte considerable de la fachada se puede producir en cualquier momento. En caso de desprendimiento, el impacto producirá destrozo extremo. Como ejemplo, si el desprendimiento incide sobre un vehículo, este quedará siniestro total. El elemento constructivo analizado está tan devastado, que prácticamente el único tratamiento terapéutico posible es su sustitución. Los daños son tan graves, que se hace muy difícil tomar medidas provisionales de seguridad, tales como colocación de redes o similar.

Tabla 4.5. Propuesta de escala de gravedad específica para fachadas

4.6. GRADO DE GRAVEDAD TOTAL DEL EDIFICIO

4.6.1. Introducción

Esta sección tiene por objeto hallar el grado de gravedad resultante total de un edificio (G^*), a partir de los diferentes grados de gravedad (G_j) de los elementos constructivos o zonas j .

Como se ha dicho en la anterior sección, se remarca que no siempre será necesario hallar G^* . Puede haber casos en cambio, en que sí sea de interés determinar el valor global de la gravedad del edificio, como por ejemplo si se quiere evaluar el grado de degradación de una determinada área urbana, en que sería de utilidad tener el valor G^* correspondiente a cada finca, pudiendo aplicar también para una mejor visualización el sistema de colores explicado en el apartado 4.5.4, correspondiendo a cada finca un color en función de su valor G^* , permitiendo así visualizar fácilmente aspectos como qué zonas del área urbana estudiada están en peor estado, etc.

4.6.2. Análisis previo

Como primera aproximación, se presenta en este apartado un método elemental que tiene por objeto servir de base de partida para justificar la metodología que se va a proponer. Esta aproximación se va a demostrar que presenta limitaciones pero es de utilidad para la formalización del modelo final.

En este método, que por su simplicidad conceptual denominamos método básico, se determina la gravedad total de un sistema, $G_b^{(s)}$, en base al sumatorio de los valores G_j de dicho sistema, aplicándoles un peso w_j que sea función del área o parte proporcional de la zona j (A_j) respecto al área o unidad total (A_T) del sistema valorado. De lo referido resulta la siguiente expresión:

$$G_b^{(s)} = \sum_{j=1}^n w_j \cdot G_j, \text{ con } w_j = \frac{A_j}{A_T}, \quad A_T = \sum_{j=1}^n A_j \text{ y } \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (4.2)$$

Por extensión con el mismo criterio, se determina la gravedad total del conjunto del edificio, G_b^* , en base al sumatorio de los valores $G_b^{(s)}$ de cada sistema, aplicándoles un peso $w^{(s)}$ que sea función de la importancia relativa de cada sistema (s) respecto al conjunto del edificio, que tiene en total S sistemas. De lo referido resulta la siguiente expresión:

$$G_b^* = \sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot G_b^{(s)}, \text{ con } \sum_{s=1}^S w^{(s)} = 1 \text{ y } s = 1, \dots, S \quad (4.3)$$

El método básico da resultados adecuados para casos en que la gravedad del edificio sea homogénea, por ejemplo si todo el edificio está fuertemente degradado o todo está en buen estado. En cambio da resultados inadecuados en casos en que haya importante variabilidad de grados de gravedad en el edificio, en especial en casos extremos de variabilidad.

Por ejemplo, consideremos el caso de un edificio en que una importante parte de un forjado esté devastado, con riesgo extremo de colapso (que le correspondería $G_j = 10$), lo que implicaría que el edificio o una parte del mismo debe ser desalojado inmediatamente y/o apuntalado, pero que el resto del edificio (resto de forjados, fachadas, estructura vertical, cubiertas, etc.) esté en perfecto estado (que le correspondería $G_j = 0$).

En este ejemplo se deduce fácilmente que mediante la aplicación del método básico resultaría una gravedad total del edificio muy baja (posiblemente $G_b^* = 1$ ó 2), que según la escala propuesta en la *Tabla 4.4* significa gravedad muy baja, deterioros muy leves, valor claramente inadecuado para un edificio con riesgo inminente de colapso de un forjado (como se dice en el apartado 4.5.3, la gravedad total del edificio se puede determinar mediante asignación directa y mediante método de cálculo, de lo que se deduce que ambos valores deben ser coherentes entre sí).

4.6.3. Esquema de la metodología propuesta

Una vez descartado por inadecuado el método básico, para determinar el valor global de la gravedad del edificio, se propone una metodología basada en los siguientes pasos:

1. Dividir el edificio en diferentes sistemas (fachadas, estructura vertical, etc.), denotados por $s = 1, \dots, S$.
2. Determinar el grado de gravedad de cada sistema ($G^{(s)}$) a partir de los diferentes valores G_j existentes en cada sistema, s , con $s = 1, \dots, S$.
3. Determinar el grado de gravedad total del edificio (G^*) a partir de los diferentes grados de gravedad de cada sistema ($G^{(s)}$), con $s = 1, \dots, S$.

En el apartado 4.5.2 ya se ha presentado la propuesta de división del edificio en sistemas. Los pasos 2 y 3 se componen de cuatro fases, aplicándose la siguiente notación a cada uno de los métodos empleados: DGS (*Distribution Gravity System*); DGB (*Distribution Gravity Building*); WGS (*Weighted Gravity System*); WGB (*Weighted Gravity Building*). La Figura 4.6 presenta un esquema del proceso que se sigue.

La estructura de los siguientes apartados se corresponde con el mismo orden de las cuatro fases, con objeto de facilitar la comprensión de la metodología propuesta. Al final de la explicación de cada fase se incluye un ejemplo numérico ilustrativo, con objeto de facilitar la comprensión de la metodología propuesta y al final de la sección se incluye la aplicación de la metodología de cálculo a un caso real de edificio.

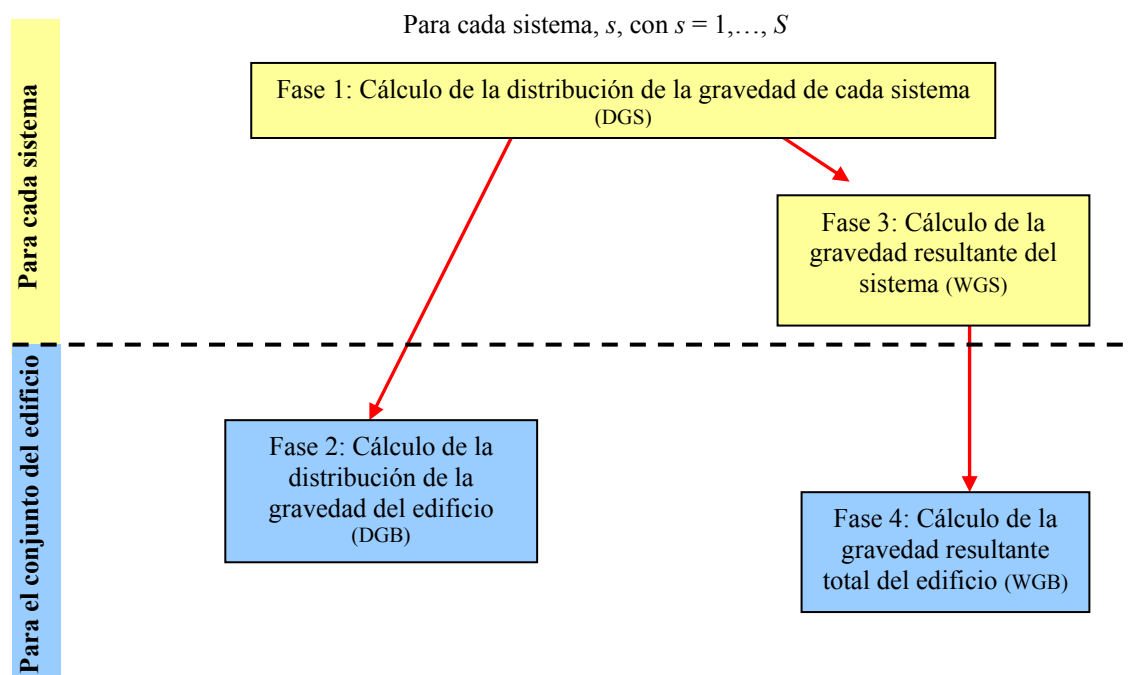


Figura 4.6. Procedimiento de cálculo de gravedades para cada sistema y para el conjunto del edificio

4.6.4. Fase 1: Cálculo de la distribución de gravedad de cada sistema

Una vez determinados los diferentes valores G_j de los elementos de un sistema, en este apartado se propone el método que denominamos DGS (*Distribution Gravity System*) para determinar la gravedad total o resultante de dicho sistema s ($G^{(s)}$), con $s = 1, \dots, S$. Por coherencia el método es el mismo para los S sistemas.

Para la obtención de dicha valoración se usa el **método de cuantiles estadísticos**. Se trata de una medida descriptiva pero que aporta un extracto de la información global de la muestra de datos, más allá del carácter de resumen (o de dispersión) de medidas como la media (y la varianza o la desviación estándar). Se utiliza este sistema ya que permite visualizar y tener en cuenta la dispersión de los datos, hecho importante a la hora de valorar el estado general de un sistema constructivo.

Existen distintos tipos de cuantiles (percentiles, cuartiles, deciles, etc.), utilizando en este caso los cuartiles así como los valores mínimos y máximos de G_j del sistema analizado, lo que permite definir la distribución de gravedad de cada sistema, y que denotaremos $G_d^{(s)}$ de la forma siguiente:

$$G_d^{(s)} = (q_0^{(s)}, q_{0.25}^{(s)}, q_{0.50}^{(s)}, q_{0.75}^{(s)}, q_{1.00}^{(s)}) \quad (4.4)$$

donde,

$q_0^{(s)}$ = valor mínimo de G_j del sistema s

$q_{0.25}^{(s)}$ = valor máximo de G_j correspondiente al 25% menos degradado del sistema s

$q_{0.50}^{(s)}$ = valor máximo de G_j correspondiente al 50% menos degradado del sistema s

$q_{0.75}^{(s)}$ = valor máximo de G_j correspondiente al 75% menos degradado del sistema s

$q_{1.00}^{(s)}$ = valor máximo de G_j del sistema s

Con esta metodología se observa de forma directa el valor de G_j más elevado de cada uno de los sistemas evaluados del edificio ($q_{1.00}^{(s)}$), superando así algunas de las limitaciones del método básico. Análogamente se puede establecer directamente si se trata de patologías generalizadas o puntuales en función de los valores G_j , que se derivan de analizar el 25%, 50% o 75% del sistema.

Para el cálculo de los cuartiles, el primer paso consiste en ordenar de forma ascendente los valores G_j . Posteriormente se calcula el peso w_j (superficie, área o parte proporcional del elemento j (A_j) respecto de la superficie o área total (A_T) del sistema considerado) de cada uno de los valores G_j y finalmente se calculan los valores w_j acumulados, W_j . De lo explicado en este párrafo se deduce:

$$w_j = \frac{A_j}{A_T} \quad \text{y} \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (4.5)$$

$$\left. \begin{aligned} q_0 &= \min \{G_j\} \\ q_{0.25} &= \min \{G_j / W_j \geq 0,25\} \\ q_{0.50} &= \min \{G_j / W_j \geq 0,50\} \\ q_{0.75} &= \min \{G_j / W_j \geq 0,75\} \\ q_{1.00} &= \max \{G_j\} \end{aligned} \right\} \quad (4.6)$$

De esta manera se pueden asignar los valores máximos de G_j correspondientes al 25%, 50%, o 75% de la superficie. Así se obtendrá una expresión del tipo $G_d^{(s)} = (a, b, c, d, e)$, con $0 \leq a \leq b \leq c \leq d \leq e \leq 10$, observándose que cuanto más a la izquierda aparezcan valores superiores a 0 más porcentaje de afectación existe respecto del total del sistema evaluado del edificio, quedando especificado además, el valor máximo de G_j en cada caso. El vector $G_d^{(s)}$ representa por tanto la **distribución de la gravedad del sistema (s)**.

Ejemplo ilustrativo

Para facilitar la comprensión de lo explicado, se muestra a continuación un ejemplo numérico para el sistema 1, que se presenta en la *Tabla 4.6*, donde a través de los signos de color rojo se relacionan los valores de G_j y los valores de w_j acumulados o sumatorios (W_j) con los cuartiles correspondientes q_k .

sistema	G_j	w_j	W_j	q_k
1	0	0,20	0,20	$q_0=0$
	2	0,10	0,30	$q_{0.25}=2$
	2	0,10	0,40	
	5	0,30	0,70	$q_{0.50}=5$
	5	0,15	0,85	$q_{0.75}=5$
	6	0,10	0,95	
	8	0,05	1,00	$q_{1.00}=8$

Diagrama de explicación de los cuartiles:

- (valor mínimo de G_j del sistema) = 0
- (valor máximo de G_j correspondiente al 25% menos degradado del sistema) = 2 = $\min \{G_j / W_j \geq 0,25\}$
- (valor máximo de G_j correspondiente al 50% menos degradado del sistema) = 5 = $\min \{G_j / W_j \geq 0,50\}$
- (valor máximo de G_j correspondiente al 75% menos degradado del sistema) = 5 = $\min \{G_j / W_j \geq 0,75\}$
- (valor máximo de G_j del sistema) = 8

Tabla 4.6.- Ejemplo numérico para el sistema 1

Así, en el caso de la *Tabla 4.6*, el vector $G_d^{(1)} = (0, 2, 5, 5, 8)$. El vector propuesto nos permite ver, por ejemplo, que un 25% por ciento de la fachada presenta una gravedad como mucho de grado 2 o que un mínimo de un 75% de la fachada presenta un grado menor o igual a 5.

Características físicas del vector

El vector resultante de un sistema s permite determinar la prioridad de intervención del sistema s , la cual viene determinada por el valor de G_{max} , correspondiente al último valor del vector. En efecto, valores G_{max} bajos indican que no es prioritario ni urgente intervenir en el sistema s , mientras que valores G_{max} altos indican que es prioritario intervenir en el sistema s . La relación entre prioridad de la intervención y valores de G_{max} se establece en la *Tabla 4.7*.

G_{max}	PRIORIDAD
0 ; 1	Muy baja
2 ; 3	Baja
4 ; 5 ; 6	Moderada
7 ; 8	Alta
9 ; 10	Muy alta

Tabla 4.7. Prioridad de la intervención

$G_d^{(s)}$ también permite establecer la extensión de la disfunción correspondiente a G_{max} , y que denotaremos por $e(., G_{max})$, que evalúe la posición del cuartil mínimo en que sigue apareciendo el valor de G_{max} . Formalmente, definimos

$$e(G_d^{(s)}, G_{max}) = q, \text{ donde } q \text{ es el menor } q_k \text{ tal que } q_k = G_{max}. \quad (4.7)$$

La relación entre extensión de la disfunción, y los valores q_k y G_{max} , se establece en la *Tabla 4.8*.

$e(G_d^{(s)}, G_{max})$	EXTENSIÓN
$q_{1.00}$	Puntual
$q_{0.75}$	Media
$q_{0.50}$	Alta
$q_{0.25}$	Muy alta
q_0	Total

Tabla 4.8. Extensión de la disfunción con G_{max}

Así por ejemplo, en el caso de obtener el vector $G_d^{(1)} = (0, 2, 5, 5, 8)$ la extensión de la disfunción con G_{max} es puntual, ya que $e(G_d^{(1)}, G_{max} = 8) = q_{1.00}$. En cambio, en el caso del vector $G_d^{(1)} = (1, 2, 7, 7, 7)$ la extensión de la disfunción con G_{max} es alta, ya que $e(G_d^{(1)}, G_{max} = 7) = q_{0.50}$.

De forma más general, si lo que se considera es la extensión de la intervención, ésta depende en parte del valor de G a partir del cual se estime oportuno que se debe intervenir. Este valor (G_{int}), puede variar en función de diversos aspectos, algunos de los cuales podrían no ser estrictamente técnicos. La definición (4.7) y la *Tabla 4.8* pueden ser fácilmente extendidas a este caso general para G_{int} , substituyendo la relación de igualdad (4.7) por una expresión de desigualdad, definiendo

$$e(G_d^{(s)}, G_{int}) = q, \quad \text{donde } q \text{ es el menor } q_k \text{ tal que } q_k \geq G_{int}. \quad (4.8)$$

Ejemplo ilustrativo (cont.)

Para ilustrar la aplicación de la expresión (4.8) se va a utilizar el siguiente ejemplo. Supongamos dos edificios con el sistema s igual y con el mismo estado de conservación, y que a los dos les corresponde $G_d^{(s)} = (1, 1, 2, 3, 8)$. Queda claro por lo explicado que la prioridad de la intervención es alta ya que $G_{max} = 8$ y que la extensión de la disfunción con G_{max} es puntual ya que $e(G_d^{(s)}, G_{max}) = q_{1.00}$. Pero en el primer edificio la propiedad está dispuesta a intervenir no sólo para corregir las disfunciones graves que representan riesgo para las personas, sino también disfunciones menores que no representan riesgo pero sí afectan a la estética del edificio, lo que supongamos que representa que $G_{int} = 1$. En este caso, la extensión de la intervención es total ya que $e(G_d^{(s)}, G_{int} = 1) = q_0$. En cambio, en el segundo caso, la propiedad por razones por ejemplo de tipo económico sólo quiere realizar la intervención mínima imprescindible, lo que supongamos que representa $G_{int} = 7$. En este caso, la extensión de la intervención es puntual ya que $e(G_d^{(s)}, G_{int} = 7) = q_{1.00}$.

4.6.5. Fase 2: Cálculo de la distribución de la gravedad del edificio

Una vez obtenidos los S vectores $G_d^{(s)}$ que representan la distribución de la gravedad de cada sistema s , definimos la distribución de gravedad del edificio (G_d^*), a través de la siguiente expresión:

$$G_d^* = \begin{pmatrix} G_d^{(1)} \\ G_d^{(2)} \\ \dots \\ G_d^{(S)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_0^{(1)} & q_{0.25}^{(1)} & q_{0.50}^{(1)} & q_{0.75}^{(1)} & q_{1.00}^{(1)} \\ q_0^{(2)} & q_{0.25}^{(2)} & q_{0.50}^{(2)} & q_{0.75}^{(2)} & q_{1.00}^{(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_0^{(S)} & q_{0.25}^{(S)} & q_{0.50}^{(S)} & q_{0.75}^{(S)} & q_{1.00}^{(S)} \end{pmatrix} \quad (4.9)$$

Es decir, G_d^* es matriz de S filas y 5 columnas ($S \times 5$), agrupación por filas de las distribuciones de gravedad de cada uno de los sistemas. Este método lo denominamos DGB (*Distribution Gravity Building*).

Ejemplo ilustrativo (cont.)

Sirva como ilustración los datos recogidos en la *Tabla 4.9*, para los 8 sistemas. A través de los signos de color rojo que se muestran en el sistema 2 se relacionan los valores de G_j y los valores de w_j acumulados o sumatorios (W_j) con los cuartiles correspondientes $q_k^{(s)}$ (los valores del sistema 1 son los mismos que los utilizados en el ejemplo de la *Tabla 4.6*).

Del ejemplo numérico expuesto en la *Tabla 4.9*, se desprende que la distribución de gravedad del edificio (G_d^*) mediante la expresión (4.9) es la siguiente:

$$G_d^* = \begin{pmatrix} 0 & 2 & 5 & 5 & 8 \\ 0 & 0 & 3 & 3 & 8 \\ 1 & 1 & 4 & 7 & 9 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 9 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 6 \\ 2 & 2 & 4 & 4 & 6 \\ 1 & 1 & 1 & 4 & 7 \\ 0 & 2 & 2 & 5 & 5 \end{pmatrix} \tag{4.10}$$

sistema	$G_j^{(s)}$	$w_j^{(s)}$	sum $w_j^{(s)}$	$q_k^{(s)}$
1	0	0,20	0,20	$q_0=0$
	2	0,10	0,30	$q_{0.25}=2$
	2	0,10	0,40	
	5	0,30	0,70	$q_{0.50}=5$
	5	0,15	0,85	$q_{0.75}=5$
	6	0,10	0,95	
	8	0,05	1,00	$q_{1.00}=8$
	2	0	0,30	0,30
3		0,55	0,85	$q_{0.25}=0$
6		0,10	0,95	$q_{0.50}=3$
8		0,05	1,00	$q_{0.75}=3$
				$q_{1.00}=8$
3	1	0,40	0,40	$q_0=1$
	4	0,30	0,70	$q_{0.25}=1$
	7	0,25	0,95	$q_{0.50}=4$
	9	0,05	1,00	$q_{0.75}=7$
4	1	0,45	0,45	$q_0=1$
	2	0,30	0,75	$q_{0.25}=1$
	6	0,20	0,95	$q_{0.50}=2$
	9	0,05	1,00	$q_{0.75}=2$
5	0	0,20	0,20	$q_0=0$
	2	0,50	0,70	$q_{0.25}=2$
	2	0,10	0,80	$q_{0.50}=2$
	6	0,20	1,00	$q_{0.75}=2$
6	2	0,40	0,40	$q_0=2$
	4	0,40	0,80	$q_{0.25}=2$
	6	0,20	1,00	$q_{0.50}=4$
				$q_{0.75}=4$
7	1	0,50	0,50	$q_0=1$
	4	0,40	0,90	$q_{0.25}=1$
	7	0,10	1,00	$q_{0.50}=1$
				$q_{0.75}=4$
8	0	0,20	0,20	$q_0=0$
	2	0,30	0,50	$q_{0.25}=2$
	2	0,30	0,80	$q_{0.50}=2$
	5	0,10	0,90	$q_{0.75}=5$
	5	0,10	1,00	$q_{1.00}=5$

Tabla 4.9. Ejemplo numérico para todo el edificio

4.6.6. Fase 3: Cálculo de la gravedad resultante del sistema

Si bien la matriz (Sx5) de G_d^* describe numéricamente el grado de gravedad del edificio con suficiente precisión, puede interesar resumir la distribución en un solo valor. Para ello se propone como primer paso un método que transforme el vector $G_d^{(s)} \in \{0, \dots, 10\}^5$ en un escalar $G_r^{(s)} \in [0, 10]$, que denominaremos gravedad resultante del sistema. Por el carácter de ponderado que tendrá el método lo denominaremos WGS (*Weighted Gravity System*).

De la expresión (4.4), aplicada a cada sistema s , se tiene que

$$G_d^{(s)} = (q_0^{(s)}, q_{0.25}^{(s)}, q_{0.50}^{(s)}, q_{0.75}^{(s)}, q_{1.00}^{(s)}) \tag{4.11}$$

Para estimar el valor medio de la distribución y haciendo uso de la relación $E(X) = \int R(g)dg$ que calcula la esperanza de una variable aleatoria X positiva (en nuestro caso entre 0 y 10) como el área bajo la función complementaria de la función de distribución ($R(g)=1-F(g)$), donde F denota la función de distribución, se propone que $G_r^{(s)}$ se obtenga como aproximación de primer orden del área bajo la distribución empírica de R a partir de la distribución $G_d^{(s)}$, que por construcción toma los valores $R(q_0) = 1 - 0 = 1$; $R(q_{0.25}) = 1 - 0,25 = 0,75$; $R(q_{0.50}) = 1 - 0,50 = 0,50$; $R(q_{0.75}) = 1 - 0,75 = 0,25$ y $R(q_{1.00}) = 1 - 1 = 0$.

La *Figura 4.7* ilustra este cálculo para el ejemplo numérico de la *Tabla 4.9*, donde $G_d^{(1)} = (0, 2, 5, 5, 8)$.

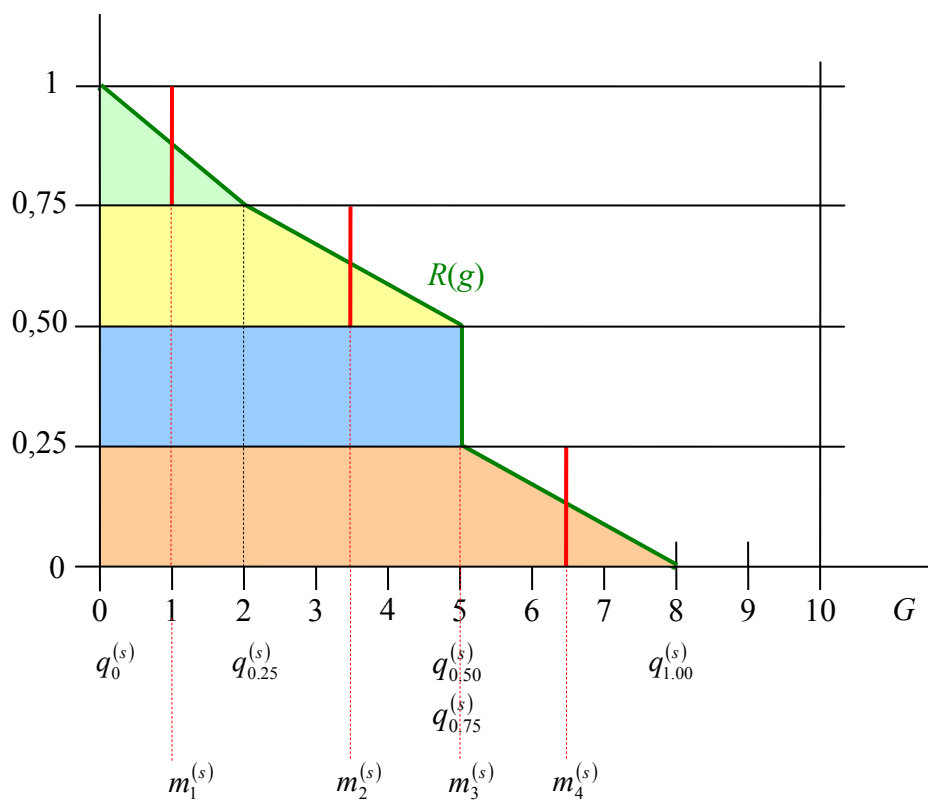


Figura 4.7. Función para determinar el valor de $G_r^{(s)}$

Como se desprende de la *Figura 4.7*, la superficie que queda bajo la función $R(g)$ se obtiene a partir de la expresión (4.12). Los diferentes colores de relleno tienen por objeto facilitar la comprensión de la expresión utilizada, correspondiendo la superficie de cada color a cada miembro del sumatorio de la expresión (4.12).

$$\begin{aligned}
 G_r^{(s)} &= \left(\frac{q_0^{(s)} + q_{0.25}^{(s)}}{2} \right) \cdot 0,25 + \left(\frac{q_{0.25}^{(s)} + q_{0.50}^{(s)}}{2} \right) \cdot 0,25 + \left(\frac{q_{0.50}^{(s)} + q_{0.75}^{(s)}}{2} \right) \cdot 0,25 + \left(\frac{q_{0.75}^{(s)} + q_{1.00}^{(s)}}{2} \right) \cdot 0,25 = \\
 &= \frac{q_0^{(s)} + 2q_{0.25}^{(s)} + 2q_{0.50}^{(s)} + 2q_{0.75}^{(s)} + q_{1.00}^{(s)}}{8}, \quad (4.12)
 \end{aligned}$$

o equivalentemente,

$$G_r^{(s)} = \sum_{i=1}^4 \frac{m_i^{(s)}}{4}, \quad (4.13)$$

donde $m_i^{(s)}$ son los puntos medios entre las componentes de $G_d^{(s)}$.

Ejemplo ilustrativo (cont.)

Aplicando esta expresión al ejemplo numérico $G_d^{(1)} = (0, 2, 5, 5, 8)$, se obtiene $G_r^{(1)} = 4$, que sería la gravedad resultante del sistema 1 (fachadas en la propuesta de la *Tabla 4.9*).

Con objeto de tener una mayor sensibilidad con respecto a las partes del edificio con mayor gravedad se propone generalizar la expresión (4.13) de manera que se pueda aplicar un conjunto de coeficientes $w_i^{(s)}$, que permita, entre otras posibilidades, dar más peso a las componentes de la derecha, que son a las que les corresponde los valores G_j más altos del sistema. Con objeto de dar flexibilidad a la metodología, se propone que el técnico pueda decidir los pesos relativos $w_i^{(s)}$ que da a cada coeficiente, bajo la condición que $\sum_{i=1}^4 w_i^{(s)} = 1$. Estos coeficientes actúan sobre las medias $m_i^{(s)}$ entre componentes $q_k^{(s)}$, lo que permite obtener $G_{rw}^{(s)}$ ($G_r^{(s)}$ weighted) a partir de la expresión

$$G_{rw}^{(s)} = \sum_{i=1}^4 w_i^{(s)} \cdot m_i^{(s)}. \quad (4.14)$$

Nótese que la expresión (4.14) permite, de una parte, una distribución homogénea de pesos entre sistemas cuando $w_i^{(s)} = w_i^{(s')}$, para cualquier par de sistemas s y s' , y de otra parte una homogeneización entre componentes cuando $w_i^{(s)} = 1/4$, recuperando así el caso particular de la expresión (4.13).

Con el fin de asignar unos pesos que prioricen los valores de mayor gravedad, e independientemente del sistema, se propone que los pesos sigan una progresión geométrica, de razón genérica r . Para mayores valores de r , mayor será la diferencia entre los valores de los pesos, dando así más peso a los valores de mayor gravedad. En particular, para $r = 1$ se tendrá que todos los pesos son iguales, es decir que $w_i^{(s)} = 1/4$, recuperando así el caso particular de la expresión (4.13).

Si denotamos por p al peso $w_1^{(s)}$, tenemos las siguientes relaciones:

$$w_i^{(s)} = r^{i-1} \cdot p, \text{ con } i = 1, \dots, 4 \quad (4.15)$$

y

$$\underbrace{w_1^{(s)}}_{p+r} \cdot \underbrace{w_2^{(s)}}_{p+r^2} \cdot \underbrace{w_3^{(s)}}_{p+r^3} \cdot \underbrace{w_4^{(s)}}_{p} = 1 \quad (4.16)$$

de donde,

$$p = \frac{1}{1+r+r^2+r^3} \quad (4.17)$$

La *Tabla 4.10* se presenta los valores de los pesos $w_i^{(s)}$ en función de la razón r de la progresión geométrica, pudiéndose apreciar que para mayor valor de r mayor es la diferencia entre los pesos, dando así más peso a los valores de mayor gravedad. El primer valor de r que pondera el 50% más grave de forma manifiesta (90% versus 10%) es $r = 3$ (resaltado en la *Tabla 4.10*), por lo que se toma como valor de referencia. No obstante, con objeto de dar flexibilidad a la metodología, se propone que el técnico pueda elegir el valor de r que estime más adecuado, a partir del cual podrá obtener de manera inmediata el valor de los pesos correspondientes.

r	$w_1^{(s)}$	$w_2^{(s)}$	$w_3^{(s)}$	$w_4^{(s)}$
1	0,25	0,25	0,25	0,25
2	0,07	0,13	0,27	0,53
3	0,03	0,08	0,23	0,68
4	0,01	0,05	0,19	0,75

Tabla 4.10. Pesos $w_i^{(s)}$ en función de los valores de la razón r

Ejemplo ilustrativo (cont.)

Como se ha comentado, se propone como adecuado $r = 3$, de donde resulta la siguiente relación de pesos:

$$w_1 = 0,03; w_2 = 0,08; w_3 = 0,23; w_4 = 0,68 \quad (4.18)$$

Aplicando la expresión (4.12) y la propuesta de pesos (4.16) al ejemplo numérico $G_d^{(1)} = (0, 2, 5, 5, 8)$, se obtiene

$$G_{rw}^{(1)} = \left(\frac{0+2}{2} \cdot 0,03 \right) + \left(\frac{2+5}{2} \cdot 0,08 \right) + \left(\frac{5+5}{2} \cdot 0,23 \right) + \left(\frac{5+8}{2} \cdot 0,68 \right) = 5,88 \approx 5,9, \text{ que sería la gravedad del}$$

sistema 1 (fachadas en la propuesta de la *Tabla 4.9*). Obsérvese que, por la configuración de pesos escogida, $G_{rw}^{(1)} > G_r^{(1)}$ al priorizar los valores m_i mayores. Se recuerda que $G_r^{(1)} = 4$.

Visualización gráfica del método propuesto

La *Figura 4.8* visualiza gráficamente los pasos que forman parte del método. En la *Figura 4.8a* aparece un sistema con zonas delimitadas en base a diferentes grados de gravedad G_j . Una vez pasados los valores G_j al vector $G_d^{(s)} \in \{0, \dots, 10\}^5$ según se explica en el apartado 4.6.4, se obtienen los 4 valores $m_i^{(s)}$ (puntos medios entre las componentes de $G_d^{(s)}$), que se presentan en la *Figura 4.8b*.

Seguidamente se aplican los pesos $w_i^{(s)}$ según la expresión (4.18), pesos que se obtienen a través de la función de progresión geométrica de razón $r = 3$ como se visualiza gráficamente en la *Figura 4.8c* (la superficie de m_4 es el triple de la superficie de m_3 , que a su vez es el triple de la superficie de m_2).

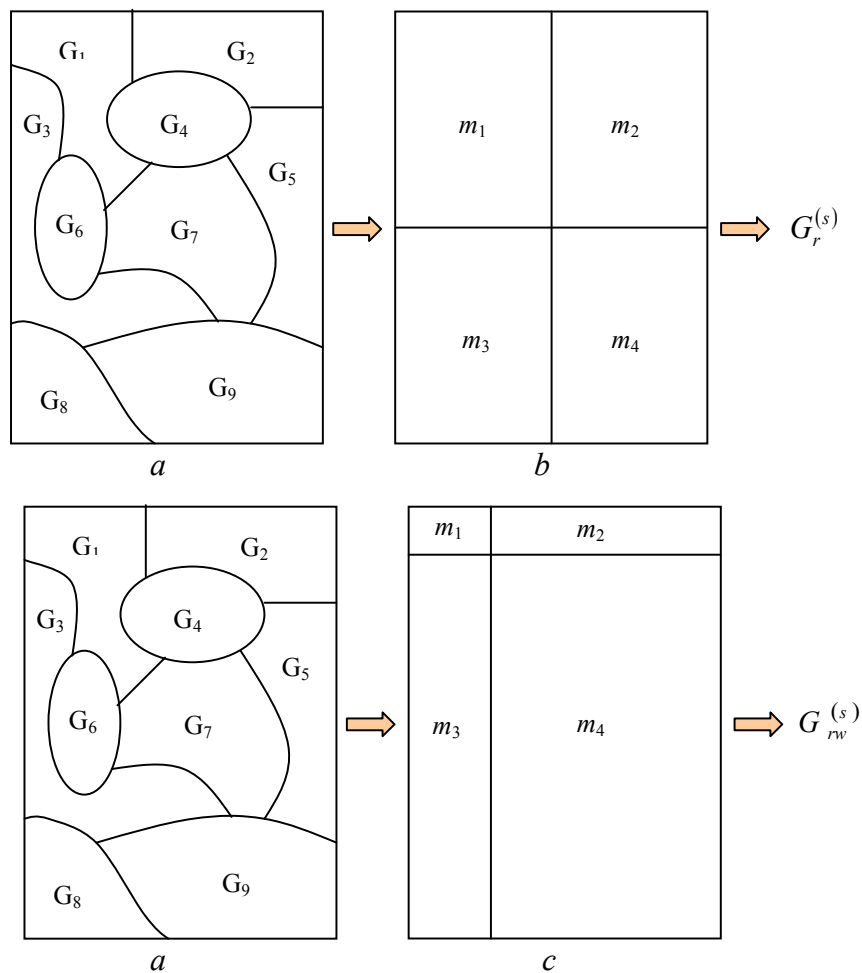


Figura 4.8. Visualización gráfica de las fases del método de cálculo de b) $G_r^{(s)}$ y c) $G_{rw}^{(s)}$

4.6.7. Fase 4: Cálculo de la gravedad resultante total del edificio

Si se juntan los S valores $G_r^{(s)}$ en un vector que representa el conjunto de gravedades resultantes de los sistemas del edificio (G_r^*), se tiene la siguiente expresión:

$$G_r^* = (G_r^{(1)}, G_r^{(2)}, \dots, G_r^{(S)}) \quad (4.19)$$

Como se ha referido dicho método lo denominamos DGB (*Distribution Gravity Building*).

Ejemplo ilustrativo (cont.)

Aplicando la expresión (4.19) al ejemplo numérico (*Tabla 4.9*) se tiene que $G_r^* = (4 ; 2,5 ; 4,25 ; 2,5 ; 2,25 ; 3,5 ; 2,5 ; 2,87)$.

Una vez transformados los S vectores $G_d^{(s)} \in \{0, \dots, 10\}^5$ en escalares $G_r^{(s)} \in [0, 10]$, interesa hallar un método que resuma el vector $G_r^* \in [0, 10]^S$ a un solo valor $G^* \in [0, 10]$. Para ello se propone aplicar un coeficiente $w^{(s)}$ para cada uno de los S sistemas del edificio, con objeto de dar más peso a los sistemas más importantes. Siguiendo el mismo criterio del apartado 4.6.6, con objeto de dar flexibilidad a la metodología, se propone que el técnico pueda decidir el peso relativo $w^{(s)}$ que da a cada sistema, bajo la condición $\sum_{s=1}^S w^{(s)} = 1$, y para el caso general de S sistemas, se propone que G^* se obtenga a partir de la siguiente expresión:

$$G^* = \sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot G_r^{(s)} \quad (4.20)$$

Así pues, a través de la metodología propuesta, la representación numérica de la gravedad de un edificio pasa de la matriz ($S \times 5$) de G_d^* , a un solo escalar G^* , la cual cosa era el objetivo planteado en el apartado 4.6.7.

Con objeto de proponer un modelo concreto a seguir, se ha considerado oportuno la siguiente asignación de pesos, para la división en 8 sistemas presentada en la *Tabla 4.3*, y que se presentan en la *Tabla 4.11*.

Ejemplo ilustrativo (cont)

Aplicando la expresión (4.20) con los coeficientes $w^{(s)}$ de la *Tabla 4.11* al ejemplo numérico $G_r^* = (4 ; 2,5 ; 4,25 ; 2,5 ; 2,25 ; 3,5 ; 2,5 ; 2,87)$ se obtiene que $G^* = 3,2$, pasando de la matriz (8×5) de G_d^* , con 40 valores, a un solo escalar G^* .

coeficiente	sistema	peso
$w^{(1)}$	Fachadas	0,15
$w^{(2)}$	Estructura vertical	0,20
$w^{(3)}$	Estructura horizontal	0,20
$w^{(4)}$	Cubiertas y patios interiores	0,15
$w^{(5)}$	Elementos constructivos interiores	0,05
$w^{(6)}$	Cajas de escalera	0,10
$w^{(7)}$	Instalaciones de saneamiento	0,05
$w^{(8)}$	Otras instalaciones	0,10

Tabla 4.11. Ejemplo de pesos asignados a cada sistema del edificio

A modo de resumen se tienen las siguientes comparaciones:

- El valor G^* tiene la ventaja respecto G_d^* de ser mucho más simple, al ser un solo escalar en comparación a una matriz ($S \times 5$).
- El valor G_d^* tiene la ventaja respecto G^* de dar una información mucho más detallada sobre el grado de gravedad del edificio.
- Un caso intermedio entre G^* y G_d^* es, como se ha visto, G_r^* .

Análogamente a como se ha hecho en la expresión (4.17), si se juntan los S valores $G_{rw}^{(s)}$ en un vector que representa el conjunto de gravedades resultantes de los sistemas del edificio (G_{rw}^*) se tiene la siguiente expresión:

$$G_{rw}^* = (G_{rw}^{(1)}, G_{rw}^{(2)}, \dots, G_{rw}^{(s)}) \quad (4.21)$$

Ejemplo ilustrativo (cont.)

Aplicando la expresión (4.21) al ejemplo numérico (Tabla 4.9) se tiene que $G_{rw}^* = (5,6 ; 4,1 ; 6,4 ; 3,7 ; 3 ; 4,4 ; 3,8 ; 4,1)$, donde nuevamente se observa que $G_{rw}^* > G_r^*$ al priorizar los valores m_i mayores.

Con objeto dar más peso a aquellos sistemas que están en peor estado se propone aplicar adicionalmente otro coeficiente ($w_{(\tilde{s})}$), de manera que se da más peso a aquellos $G_{rw}^{(s)}$ mayores. Si \tilde{s} indica la posición de la gravedad del sistema s en el vector G_{rw}^* una vez ordenado de manera creciente por gravedades, y en caso de empates, de manera creciente

según los pesos $w^{(s)}$ respectivos. Bajo la condición $\sum_{s=1}^S w_{(\tilde{s})} = 1$, para el caso general de S sistemas, se define G_w^* (G^* weighted) como

$$G_w^* = \frac{\sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot G_{rw}^{(s)} \cdot w_{(\tilde{s})}}{\sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot w_{(\tilde{s})}} \quad (4.22)$$

Es importante resaltar que la expresión (4.22) es invariante respecto de empates en las componentes de G_{rw}^* , sólo en caso que los pesos $w^{(s)}$ sean iguales.

Para la obtención de los pesos $w^{(s)}$ se propone como adecuada la función sigmoide trip parametrizada, que da más peso a aquellos $G_{rw}^{(s)}$ mayores. Se propone como referencia la sigmoide definida por los tres parámetros $x_i = 4,5$; $y_i = 0,5$; $\alpha = 3$, siendo x_i el valor de x en el punto de inflexión, y_i el valor de y en el punto de inflexión, y α el factor de forma. Dado que se dispone de 8 sistemas los valores límite serán $x_{min} = 1$ y $x_{max} = 8$. En la *Figura 4.9* se presenta un ejemplo de función sigmoide.

Con objeto de dar flexibilidad a la metodología, se propone que el técnico pueda elegir los valores del vector de parámetros (x_i , y_i , α) que estime más adecuado, a partir de los cuales podrá obtener de manera inmediata el valor de los pesos correspondientes. En la parte final del apartado 4.6.8, donde se aplica la metodología propuesta a un caso real de edificio, se explican los aspectos físicos que resultan de la variación de los parámetros (x_i , y_i , α), como por ejemplo cuál es el número de sistemas en peor estado (con aquellos $G_{rw}^{(s)}$ mayores) que se quiere considerar significativo (lo que influye en el valor de los parámetros x_i e y_i), el grado de importancia relativa que se quiere dar a los sistemas en peor estado con respecto a los sistemas en mejor estado (lo que influye en el valor del parámetro α), etc.

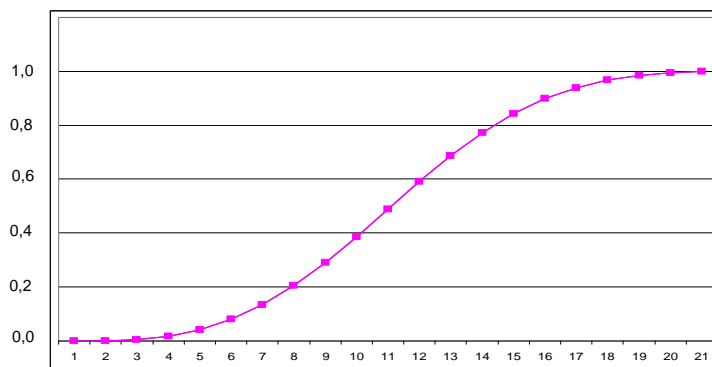


Figura 4.9. Ejemplo de función sigmoide

Ejemplo ilustrativo (cont.)

Retomando el ejemplo numérico, en el que se tiene que $G_{rw}^* = (5,6 ; 4,1 ; 6,4 ; 3,7 ; 3,0 ; 4,4 ; 3,8 ; 4,1)$, para $s = 1$, $G_{rw}^{(1)} = 5,6$, y le corresponde $\tilde{s} = 7$, pues es el 7º valor $G_{rw}^{(s)}$ más alto en el vector G_{rw}^* . Como se ha comentado, se propone como adecuado el conjunto de valores $x_i = 4,5$; $y_i = 0,5$; $\alpha = 3$ (es decir (4,5; 0,5; 3) en forma vectorial) para

definir la función sigmoide triparametrizada. Aplicando dicha sigmoide, y bajo la condición que $\sum_{s=1}^8 w_{(\tilde{s})} = 1$, se obtiene la siguiente relación de pesos:

$$w_{(1)} = 0; w_{(2)} = 0,00; w_{(3)} = 0,03; w_{(4)} = 0,09; w_{(5)} = 0,16; w_{(6)} = 0,22; w_{(7)} = 0,25; w_{(8)} = 0,25 \quad (4.23)$$

Aplicando la expresión (4.22) y el método propuesto de asignación de pesos al ejemplo numérico $G_{rw}^* = (5,6; 4,1; 6,4; 3,7; 3; 4,4; 3,8; 4,1)$ se tiene el siguiente desarrollo de cálculo y el valor resultante correspondiente:

Sistemas s (según <i>Tabla 4.3</i>)	1	2	3	4	5	6	7	8
Valores que componen el vector G_{rw}^*	5,6	4,1	6,4	3,7	3,0	4,4	3,8	4,1
Coefficientes $w^{(s)}$ asociados a cada sistema (según <i>Tabla 4.11</i>)	0,15	0,20	0,20	0,15	0,05	0,10	0,05	0,10
Posición (\tilde{s}) de la gravedad del sistema s en el vector G_{rw}^* una vez ordenado de manera creciente por gravedades	7	4	8	2	1	6	3	4
Reordenación de \tilde{s} en caso de empates de manera creciente según los pesos $w^{(s)}$ respectivos (en este ejemplo hay empates entre los sistemas 2 y 8, en que en los dos casos $G_{rw}^{(s)} = 4,1$)	7	5	8	2	1	6	3	4
Coefficientes $w_{(\tilde{s})}$ según la posición \tilde{s} de cada sistema, s (según la expresión (4.21))	0,25	0,16	0,25	0	0	0,22	0,03	0,09

Tabla 4.12. Aplicación del método propuesto al ejemplo numérico

Como se observa en la *Tabla 4.12* en este ejemplo numérico hay empates entre los sistemas 2 y 8, en que en los dos casos $G_{rw}^{(s)} = 4,1$. Las delimitaciones en rojo y azul facilitan la comprensión del método utilizado en caso de empates.

Aplicando la expresión (4.22) al ejemplo numérico se tiene que

$$G_w^* = \frac{\sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot G_{rw}^{(s)} \cdot w_{(\tilde{s})}}{\sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot w_{(\tilde{s})}} =$$

$$= \frac{((5,6 \cdot 0,15 \cdot 0,30) + (4,1 \cdot 0,20 \cdot 0,10) + (6,4 \cdot 0,20 \cdot 0,35) + (3,7 \cdot 0,15 \cdot 0) + (3 \cdot 0,05 \cdot 0) + (4,4 \cdot 0,10 \cdot 0,20) + (3,8 \cdot 0,05 \cdot 0,01) + (4,1 \cdot 0,10 \cdot 0,04))}{((0,15 \cdot 0,30) + (0,20 \cdot 0,10) + (0,20 \cdot 0,35) + (0,15 \cdot 0) + (0,05 \cdot 0) + (0,10 \cdot 0,20) + (0,05 \cdot 0,01) + (0,10 \cdot 0,04))} = 5,6$$

por tanto $G_w^* = 5,6$. Se recuerda que anteriormente se ha obtenido $G^* = 3,2$. Se verifica que $G_w^* > G^*$ ya que en G_w^* se aplican coeficientes con objeto de dar más peso a las partes del edificio más degradadas a la hora de determinar la gravedad total del edificio.

4.6.8. Esquema de la metodología utilizada WGS/WGB y definiciones fundamentales

La *Figura 4.10* resume de forma esquemática la metodología propuesta y las definiciones fundamentales. Cabe destacar la facilidad de aplicación de la metodología por parte de un técnico, ya que se puede implementar en una hoja de cálculo en Excel, de

forma que introduciendo sólo los diferentes valores G_j y A_j correspondientes a cada sistema, se obtengan automáticamente todos los valores resultantes buscados.

Análogamente, como se ha visto, los pesos $w_i^{(s)}$ se obtienen según la función de progresión geométrica, de razón genérica r . Para mayores valores de r , mayor es la diferencia entre los valores de los pesos, dando así más peso a los valores de mayor gravedad.

Así mismo los pesos $w_{(s)}$ se obtienen según la función sigmoide triparametrizada (de parámetros x_i , y_i , α) que da más peso a aquellos $G_{rw}^{(s)}$ mayores. El valor de los parámetros x_i e y_i define cuál es el número de sistemas en peor estado (con aquellos $G_{rw}^{(s)}$ mayores) que se quiere considerar significativo, el valor del parámetro α define el grado de importancia relativa que se quiere dar a los sistemas en peor estado con respecto a los sistemas en mejor estado.

Así pues, en resumen, el técnico, como criterio de valoración, debe decidir sobre los aspectos siguientes:

- El número S y definición de los sistemas que componen el edificio.
- Los valores de los coeficientes $w^{(s)}$ a aplicar a cada sistema, s , en función de la importancia relativa de cada sistema.
- Los valores de los coeficientes $w_i^{(s)}$ y $w_{(s)}$ a aplicar, en función de los parámetros que definen las funciones correspondientes (progresión geométrica y sigmoide triparametrizada respectivamente).

Estas decisiones otorgan flexibilidad a la metodología propuesta y permiten su adaptación a criterios técnicos específicos de inspección. Con todo, a lo largo de esta sección se han hecho propuestas concretas razonables para los tres puntos antes citados. En aras a que técnicos diferentes obtengan resultados homogéneos al aplicar esta metodología, se considera que es recomendable en general seguir las propuestas concretas efectuadas en esta sección:

- El número de sistemas del edificio es 8 y quedan definidos en la *Tabla 4.3*.
- Los valores de los coeficientes $w^{(s)}$ a aplicar a cada sistema, s , en función de la importancia relativa de cada sistema quedan definidos en la *Tabla 4.11*.
- Los valores de los coeficientes a aplicar quedan definidos en las expresiones (4.16) y (4.21) respectivamente, obtenidos a partir de los parámetros $r = 3$; $x_i = 4,5$; $y_i = 0,5$; $\alpha = 3$.

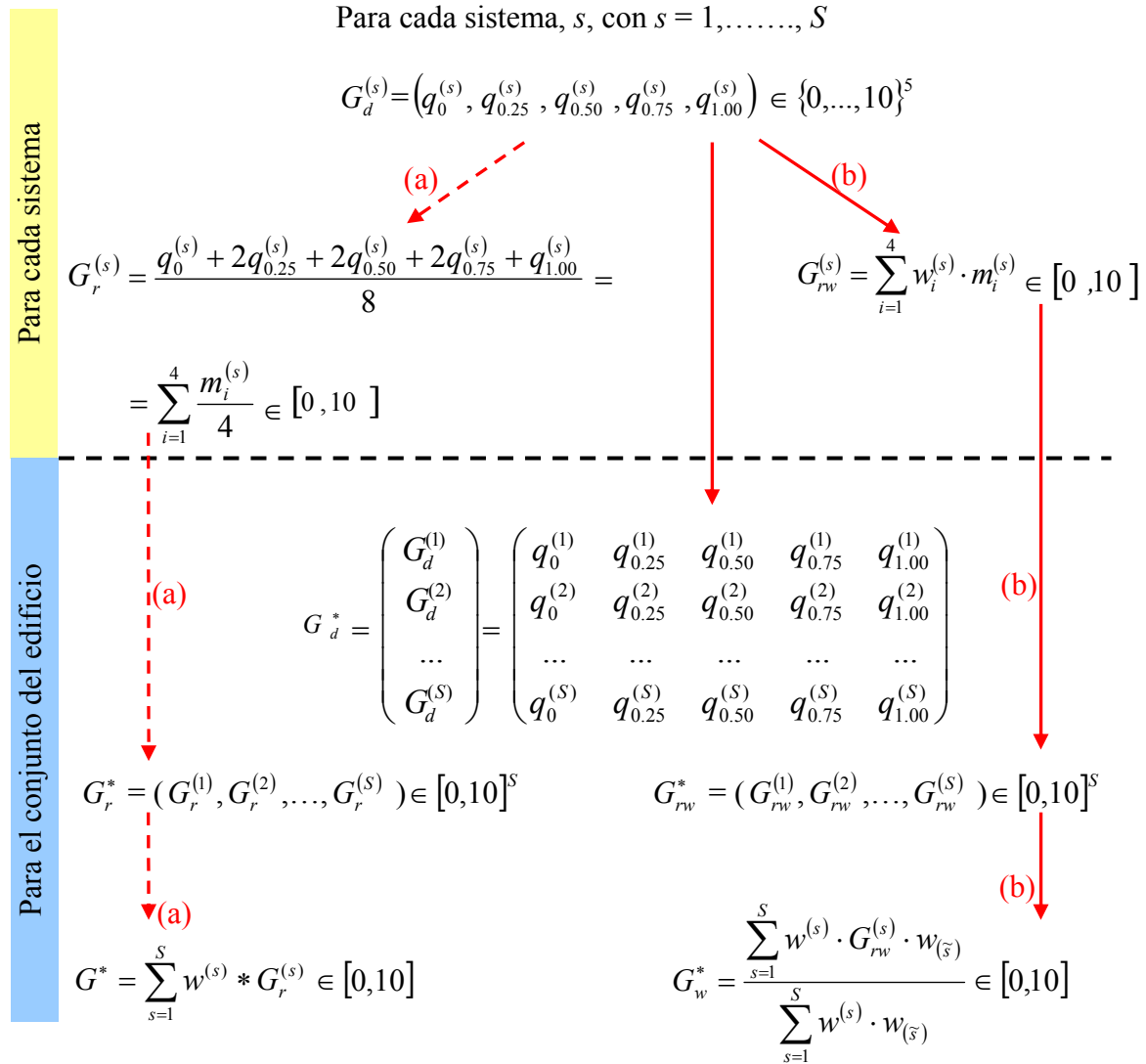


Figura 4.10. Procedimiento de cálculo de gravedades y expresiones matemáticas utilizadas para cada sistema y para el conjunto del edificio: (a) sin aplicar pesos, (b) aplicando pesos (métodos WGS y WGB)

4.6.9. Aplicación a un caso real

En este apartado se aplica la metodología propuesta para el cálculo de G_w^* a un caso real de edificio. Para obtener los diferentes valores G_j se utiliza, tal y como se propone en el apartado 4.5.3, el método de asignación directa en base a las definiciones genéricas de la escala de gravedad propuesta, que se presenta en la *Tabla 4.4*, y para el caso de fachadas las definiciones de más detalle de la *Tabla 4.5*. El caso real se acompaña de explicaciones que faciliten al lector la comprensión de la metodología.

El edificio para la aplicación práctica de la metodología propuesta ha sido seleccionado por las siguientes razones:

- Tiene una tipología constructiva, características y materiales bastante comunes en edificios de viviendas.
- Tiene apreciable antigüedad (fue construido en 1860), aspecto que se considera positivo, pues hay más posibilidades de que haya disfunciones que en un edificio de reciente construcción. Análogamente, edificios de la mencionada antigüedad o superior son bastante comunes en España.
- Buena parte del edificio está habitado, aspecto que se considera positivo pues es aspecto común en edificios de viviendas.
- Tiene variadas disfunciones de diversa gravedad y tipología, lo que es positivo para conseguir una más ilustrativa aplicación práctica de la metodología propuesta.
- En algún punto concreto se han encontrado indicios de ataque de termita del tipo *Reticulitermes luccifugus* Rossi. Este aspecto, junto con el hecho que buena parte de los forjados están ocultos por falsos techos, se considera positivo al permitir igualmente una más ilustrativa aplicación práctica de la metodología propuesta. Cabe decir que los ataques de termita en edificios en España son bastante comunes (Anexo II; Ruiz, 2012).

Sistema 1: Fachadas

Fachada principal

El primer paso es la delimitación de las diferentes zonas j que tienen diferentes gravedades (diferentes valores G_j), así como la asignación directa del valor G_j y la determinación del área A_j (en m^2) para cada zona j . (El objeto de que haya algunas notaciones en rojo y otras en amarillo es simplemente para facilitar su visualización en caso de que el lector tenga el documento en blanco y negro).

Como se puede apreciar, en la zona 1 se ha determinado mediante asignación directa (en base a las definiciones de la escala propuesta) el valor $G_1 = 4$, y la superficie de esa zona le corresponde $A_1 = 4,5 m^2$. Análogamente, en la zona 2 se ha asignado $G_2 = 2$, y una superficie de $A_2 = 0,3 m^2$. El resto de la fachada principal (zona 3) está en buen estado, por tanto le corresponde $G_3 = 0$, y una superficie de $A_3 = 62,4 m^2$.



Figura 4.11. Vistas de la fachada principal

Fachada posterior

Se utiliza el mismo procedimiento que para la fachada principal delimitando las diferentes zonas j que tienen diferentes gravedades (diferentes valores G_j), así como la asignación directa del valor G_j y la determinación del área A_j (en m^2) para cada zona j . En este caso comprende desde la zona 4 a la zona 18 (empieza por la zona 4 ya que se considera conjuntamente todo el sistema fachadas, que incluye en este caso la fachada principal y la fachada posterior).

La *Tabla 4.13* presenta el conjunto de valores G_j y A_j obtenidos para el sistema 1 (fachadas, incluyendo por tanto los valores obtenidos para la fachada principal (zonas 1 a 3) y para la fachada posterior (zonas 4 a 18)). Análogamente se incluye el peso w_j (superficie o parte proporcional del elemento j (A_j) respecto del área o superficie total (A_T) del sistema considerado), mediante la expresión:

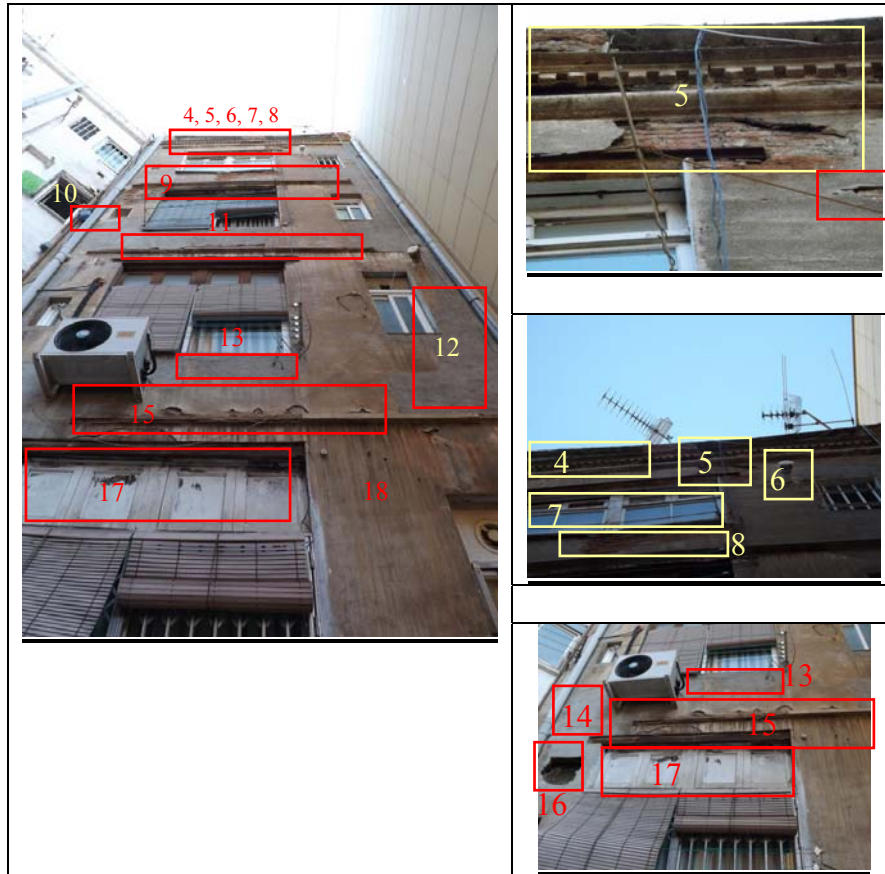


Figura 4.12. Vistas de la fachada posterior

$$w_j = \frac{A_j}{A_T}, \text{ con } \sum_{j=1}^n w_j = 1$$

siendo en este caso $A_T = 134,4 \text{ m}^2$.

	zona	G_j	A_j	w_j		zona	G_j	A_j	w_j		zona	G_j	A_j	w_j
corresponde a la fachada principal	1	4	4,5	0,03		7	5	2,5	0,02		13	1	2,0	0,01
	2	2	0,3	0,00		8	6	2,0	0,01		14	1	1,0	0,01
	3	0	62,4	0,46		9	6	4,0	0,03		15	6	4,0	0,03
corresponde a la fachada posterior	4	6	1,0	0,01		10	1	2,0	0,01		16	6	1,0	0,01
	5	7	1,5	0,01		11	6	4,0	0,03		17	3	2,5	0,02
	6	5	1,0	0,01		12	1	2,0	0,01		18	3	36,7	0,27

Tabla 4.13. Valores de G_j y A_j obtenidos para el sistema 1

A continuación se procede a agrupar las zonas con el mismo valor G_j y ordenarlas de manera creciente en función de sus valores G_j correspondientes (empezando por tanto por los valores de G_j más bajos). Igualmente se incluyen los pesos w_j , se calculan los valores de w_j acumulados, W_j , y se calculan las componentes correspondientes q_k (véase Tabla 4.14).

Sistema 1			
G_i	w_i	W_i	q_k
0	0,46	0,46	$q_0 = 0$
1	0,07	0,53	$q_{0.25} = 0$
2	0,00	0,52	$q_{0.50} = 1$
3	0,27	0,80	$q_{0.75} = 3$
4	0,03	0,83	
5	0,03	0,86	
6	0,13	0,99	
7	0,01	1,00	$q_{1.00} = 7$

Tabla 4.14. Valores q_k del sistema 1

Así, en este caso resulta el vector $G_d^{(1)} = (0, 0, 1, 3, 7)$. Cabe decir que, lógicamente, el cálculo se podría haber hecho para cada fachada separadamente, obteniendo así un vector para la fachada principal y otro para la fachada posterior, si por ejemplo interesara analizar separadamente ambas fachadas.

Sistema 2: Estructura vertical

La estructura vertical se compone de paredes de carga, que forman las dos medianeras. El material base de estas paredes de carga no está a la vista, pues está oculto por diferentes tipos de revestimientos (plástico, papel, mortero de cal, etc.), (Figura 4.13). No obstante, por la edad y tipología constructiva del edificio se deduce que con alta probabilidad las paredes de carga son de fábrica de ladrillo. Sobre estas paredes de carga medianeras se apoyan las vigas de los diferentes forjados.



Figura 4.13. Vista en a de la medianera 1, a nivel de PB. Vistas en b y c de la medianera 2, a nivel de PB. En c además vista de la escalera comunitaria

Por tanto, de la inspección organoléptica no se puede tener certeza sobre el estado del material base de las paredes de carga, tan sólo del revestimiento exterior. En consecuencia, para realizar la valoración de los valores correspondientes G_j a las dos paredes de carga se realiza una hipótesis sobre su estado de conservación. Debido a que si dichas paredes de carga tuvieran lesiones importantes es muy probable que hubiera síntomas indicativos (como grietas, deformaciones, etc.) (Anexo II), y que no se ha observado ninguno de estos síntomas, la hipótesis que se considera es que en general las dos paredes de carga están en aceptable estado de conservación, con la siguiente asignación de valores:

- Al 50% de la superficie le corresponde $G_1 = 1$
- Al 40% de la superficie le corresponde $G_2 = 2$
- Al 10% de la superficie le corresponde $G_3 = 4$

A continuación se realiza el cálculo de las componentes correspondientes q_k , que se presenta en la *Tabla 4.15*. Así, en este caso resulta el vector $G_d^{(2)} = (1, 1, 1, 2, 4)$.

Sistema 2			
G_j	w_j	W_j	q_k
1	0,50	0,50	$q_0 = 1$
2	0,40	0,90	$q_{0.25} = 1$
4	0,10	1,00	$q_{0.50} = 1$
			$q_{0.75} = 2$
			$q_{1.00} = 4$

Tabla 4.15. Valores q_k del sistema 2

Sistema 3: Estructura horizontal

La estructura horizontal observada se compone de forjados unidireccionales de vigas de madera que se apoyan sobre las paredes medianeras (*Figura 4.14*). Cabe resaltar que la mayor parte de la estructura horizontal está oculta por falsos techos (en ocasiones de yeso y cañizo, y en otras ocasiones de placas de yeso), (*Figura 4.15*), por lo que no se puede saber con seguridad la composición de dicha estructura horizontal, ni su estado de conservación. De todas formas, debido a que en PB se han observado claros indicios de ataque de termita del tipo *Reticulitermes luccifugus* Rossi (*Figura 4.16*), se deduce que es probable que algunas de las vigas estén gravemente degradadas.



*Figura 4.14. Zona de entrevigado que antes de ser apuntalada estaba en situación inestable (a) y ataque de *Hylotrupes bajulus* (carcoma grande) en viga de madera (b)*

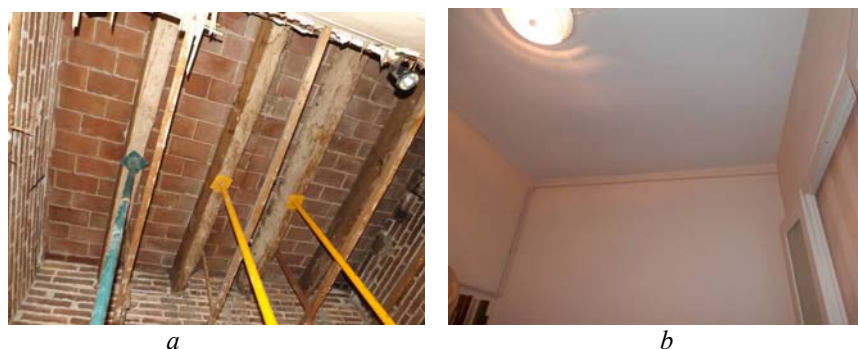


Figura 4.15. Vista del forjado de P4ª (a) y forjado oculto por falso techo en P2ª (b)

Por lo explicado, de la inspección organoléptica no se puede tener certeza sobre el estado de los forjados, tan sólo de las muy escasas zonas donde hay practicadas catas en los falsos techos. No obstante, debido a que en PB se han observado claros indicios de ataque de termita (Figura 4.16), se deduce que es probable que algunas de las vigas estén gravemente degradadas.

Debido a que el estado de conservación de los forjados de madera ocultos por falsos techos puede tener una variada casuística por la presencia de ataque termítico, se ha considerado adecuado considerar 3 hipótesis diferentes que son las siguientes:

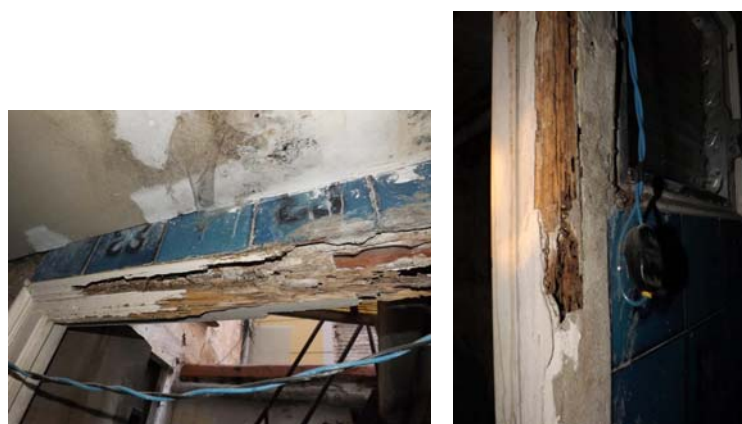


Figura 4.16. Marco de madera devastado por ataque de termita en PB

Hipótesis 1 (**H1**).- No se ha producido ataque termítico en la estructura de madera, y tan sólo hay diversos ataques de *Hylotrupes bajulus* (carcoma grande) y *Anobium punctatum* (carcoma). Esta hipótesis tiene la siguiente asignación de valores G_j :

- Al 20% de la superficie le corresponde $G_1 = 0$
- Al 40% de la superficie le corresponde $G_2 = 2$
- Al 20% de la superficie le corresponde $G_3 = 4$
- Al 15% de la superficie le corresponde $G_4 = 6$
- Al 5% de la superficie le corresponde $G_5 = 7$

Hipótesis 2 (**H2**).- Se ha producido grave ataque termítico a unas pocas vigas, y el resto es similar a la hipótesis 1. Esta hipótesis tiene la siguiente asignación de valores G_j :

- Al 10% de la superficie le corresponde $G_1 = 0$
- Al 30% de la superficie le corresponde $G_2 = 2$
- Al 20% de la superficie le corresponde $G_3 = 4$
- Al 20% de la superficie le corresponde $G_4 = 6$
- Al 10% de la superficie le corresponde $G_5 = 7$
- Al 10% de la superficie le corresponde $G_6 = 8$

Hipótesis 3 (H3).- Se ha producido ataque térmico a zona de cierta extensión (con zonas muy graves y zonas graves), y el resto es similar a la hipótesis 1. Esta hipótesis tiene la siguiente asignación de valores G_j :

- Al 10% de la superficie le corresponde $G_1 = 0$
- Al 30% de la superficie le corresponde $G_2 = 2$
- Al 20% de la superficie le corresponde $G_3 = 6$
- Al 10% de la superficie le corresponde $G_4 = 7$
- Al 20% de la superficie le corresponde $G_5 = 8$
- Al 10% de la superficie le corresponde $G_6 = 9$

A continuación se realiza el cálculo de las componentes correspondientes q_k , para cada una de las 3 hipótesis, que se presentan en la *Tabla 4.16*.

Sistema 3 (hipótesis 1)				Sistema 3 (hipótesis 2)				Sistema 3 (hipótesis 3)			
G_j	w_j	W_j	q_k	G_j	w_j	W_j	q_k	G_j	w_j	W_j	q_k
0	0,20	0,20	$q_0 = 0$	0	0,10	0,10	$q_0 = 0$	0	0,10	0,10	$q_0 = 0$
2	0,40	0,60		2	0,30	0,40		2	0,30	0,40	
4	0,20	0,80	$q_{0.25} = 2$	4	0,20	0,60	$q_{0.25} = 2$	6	0,20	0,60	$q_{0.25} = 2$
6	0,15	0,95	$q_{0.50} = 2$	6	0,20	0,80	$q_{0.50} = 4$	7	0,10	0,70	$q_{0.50} = 6$
7	0,05	1,00		7	0,10	0,90		8	0,20	0,90	
			$q_{0.75} = 4$	8	0,10	1,00	$q_{0.75} = 6$	9	0,10	1,00	$q_{0.75} = 8$
			$q_{1.00} = 7$				$q_{1.00} = 8$				$q_{1.00} = 9$

Tabla 4.16. Valores q_k del sistema 3 para las tres hipótesis

Así, en este caso se obtienen los vectores $G_d^{(3)} = (0, 2, 2, 4, 7)$, $G_d^{(3)} = (0, 2, 4, 6, 8)$ y $G_d^{(3)} = (0, 2, 6, 8, 9)$ para cada una de las hipótesis de trabajo, respectivamente.

Sistemas 4 a 8

Para los restantes sistemas del edificio se utiliza la misma metodología mostrada en los tres primeros sistemas. La *Tabla 4.17* presenta para cada uno de los sistemas restantes la tabla correspondiente de valores q_k .

Así, en estos sistemas resultan los vectores $G_d^{(4)} = (1, 2, 2, 4, 5)$, $G_d^{(5)} = (0, 2, 2, 3, 10)$, $G_d^{(6)} = (1, 2, 2, 3, 10)$, $G_d^{(7)} = (1, 1, 3, 4, 7)$, $G_d^{(8)} = (1, 2, 2, 4, 6)$.

Sistema 4 Cubiertas interiores				Sistema 5 Elementos constructivos interiores				Sistema 6 Cajas de escalera			
G_j	w_j	W_j	q_k	G_j	w_j	W_j	q_k	G_j	w_j	W_j	q_k
1	0,20	0,20	$q_{0.1} = 1$	0	0,20	0,20	$q_0 = 0$	1	0,20	0,20	$q_0 = 1$
2	0,30	0,50		2	0,40	0,60		2	0,40	0,60	
4	0,30	0,80	$q_{0.25} = 2$	3	0,20	0,80	$q_{0.25} = 2$	3	0,20	0,80	$q_{0.25} = 2$
5	0,20	1,00	$q_{0.50} = 2$	6	0,18	0,98	$q_{0.50} = 2$	4	0,18	0,98	$q_{0.50} = 2$
			$q_{0.75} = 4$	10	0,02	1,00	$q_{0.75} = 3$	10	0,03	1,00	$q_{0.75} = 3$
			$q_{1.00} = 5$				$q_{1.00} = 10$				$q_{1.00} = 10$

Sistema 7 Instalaciones de saneamiento				Sistema 8 Otras instalaciones			
G_j	w_j	W_j	q_k	G_j	w_j	W_j	q_k
1	0,30	0,30	$q_0 = 1$	1	0,20	0,20	$q_0 = 1$
3	0,30	0,60		2	0,30	0,50	
4	0,30	0,90	$q_{0.25} = 1$	3	0,20	0,70	$q_{0.25} = 2$
7	0,10	1,00	$q_{0.50} = 3$	4	0,20	0,90	$q_{0.50} = 2$
			$q_{0.75} = 4$	6	0,10	1,00	$q_{0.75} = 4$
			$q_{1.00} = 7$				$q_{1.00} = 6$

Tabla 4.17. Valores q_k de los sistemas 4 a 8

Cálculo de la distribución de la gravedad del edificio (G_d^*)

Una vez obtenidos los 8 vectores $G_d^{(s)}$ que representan la distribución de la gravedad de cada sistema s , se determina la distribución de gravedad del edificio G_d^* , a través de la siguiente expresión:

$$G_d^* = \begin{pmatrix} G_d^{(1)} \\ G_d^{(2)} \\ \dots \\ G_d^{(8)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_0^{(1)} & q_{0.25}^{(1)} & q_{0.50}^{(1)} & q_{0.75}^{(1)} & q_{1.00}^{(1)} \\ q_0^{(2)} & q_{0.25}^{(2)} & q_{0.50}^{(2)} & q_{0.75}^{(2)} & q_{1.00}^{(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_0^{(8)} & q_{0.25}^{(8)} & q_{0.50}^{(8)} & q_{0.75}^{(8)} & q_{1.00}^{(8)} \end{pmatrix}$$

por lo que en nuestro caso queda que:

$$G_d^* = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 3 & 7 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 4 \\ 0 & 2 & 2 & 4 & 7 \\ 1 & 2 & 2 & 4 & 5 \\ 0 & 2 & 2 & 3 & 10 \\ 1 & 2 & 2 & 3 & 10 \\ 1 & 1 & 3 & 4 & 7 \\ 1 & 1 & 2 & 4 & 6 \end{pmatrix} \quad \text{H1}$$

$$G_d^* = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 3 & 7 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 4 \\ 0 & 2 & 4 & 6 & 8 \\ 1 & 2 & 2 & 4 & 5 \\ 0 & 2 & 2 & 3 & 10 \\ 1 & 2 & 2 & 3 & 10 \\ 1 & 1 & 3 & 4 & 7 \\ 1 & 1 & 2 & 4 & 6 \end{pmatrix} \quad \text{H2}$$

$$G_d^* = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 3 & 7 \\ 1 & 1 & 1 & 2 & 4 \\ 0 & 2 & 6 & 8 & 9 \\ 1 & 2 & 2 & 4 & 5 \\ 0 & 2 & 2 & 3 & 10 \\ 1 & 2 & 2 & 3 & 10 \\ 1 & 1 & 3 & 4 & 7 \\ 1 & 1 & 2 & 4 & 6 \end{pmatrix} \quad \text{H3}$$

resultando tres matrices para cada una de las tres hipótesis que se han hecho para el sistema 3 (enmarcado en rojo).

Cálculo de la gravedad resultante del sistema

Con objeto de comparar resultados se aplica al caso real el método propuesto WGS (*Weighted Gravity System*) y el mismo método pero sin aplicación de pesos adicionales respecto a gravedad ($w_i^{(s)}$ y $w_{(\bar{s})}$) (denominaremos dicho método a efectos de comparación como método no ponderado). También se ponen los valores que se obtendrían utilizando el método básico, que quedaba descartado por inadecuado al principio de esta sección. Para el cálculo de la gravedad resultante de cada sistema s , $G_r^{(s)}$, mediante el método no ponderado se utiliza la siguiente expresión:

$$G_r^{(s)} = \frac{q_0^{(s)} + 2q_{0.25}^{(s)} + 2q_{0.50}^{(s)} + 2q_{0.75}^{(s)} + q_{1.00}^{(s)}}{8}$$

o equivalentemente, $G_r^{(s)} = \sum_{i=1}^4 \frac{m_i^{(s)}}{4}$, donde $m_i^{(s)}$ son los puntos medios entre las componentes de $G_d^{(s)}$.

Para el cálculo de la gravedad resultante de cada sistema s , $G_{rw}^{(s)}$, mediante el método propuesto WGS se utiliza la expresión

$$G_{rw}^{(s)} = \sum_{i=1}^4 w_i^{(s)} \cdot m_i^{(s)}$$

donde $w_1 = 0,03$; $w_2 = 0,08$; $w_3 = 0,23$; $w_4 = 0,68$.

En la *Tabla 4.18* se presentan los valores $G_r^{(s)}$ y $G_{rw}^{(s)}$ obtenidos mediante el método no ponderado y el método WGS, respectivamente, así como también mediante el método básico $G_b^{(s)}$, a través del uso de una hoja de cálculo en Excel.

Los casos de análisis 1 y 2 en las *Tablas 4.18* y *4.19* corresponden al método básico y al método propuesto pero sin aplicación de pesos $w_i^{(s)}$ y $w_{(\bar{s})}$ (método ponderado). El objeto de incluir estas dos filas es comparar sus resultados con los obtenidos por el método propuesto (WGS/WGB) y dar así todavía más solidez a la justificación de dicho método. Las filas 3 a 8 corresponden al método propuesto (WGS/WGB), con diferentes valores de los parámetros r , x_i , y_i , α . Como se ha visto el parámetro r define la razón de la progresión geométrica a partir de la cual se obtienen los pesos $w_i^{(s)}$, y los parámetros x_i , y_i , α definen la función sigmoidea a partir de la cual se obtienen los pesos $w_{(\bar{s})}$.

Modelo	Caso	r	x _i	y _i	α	Gravedad de cada sistema									
						1	2	3			4	5	6	7	8
								H1	H2	H3					
Básico	1	-				1,94	1,7	2,85	4,1	5	3	2,68	2,52	3,1	2,8
No ponderado	2	1	-	-	-	1,87	1,62	3,87	5	5,12	2,75	3	3,12	3	2,87
WGS	3	3	4,5	0,5	2	3,9	2,50	5,84	7,03	7,74	3,96	5,19	5,2	4,74	4,30
	4				3										
	5				4										
	6	4	6,0		3										
	7		4,5		3	4,16	2,60	5,99	7,12	7,92	4,06	5,46	5,47	4,9	4,44
	8		6,0												

Tabla 4.18. Gravedad de cada sistema en el caso real

Cálculo de la gravedad resultante total del edificio

Nuevamente, con objeto de comparar resultados se aplica al caso real el método propuesto WGB (*Weighted Gravity Building*), el método no ponderado y el método básico.

Para el cálculo de la gravedad resultante total del edificio (G^*) mediante el método no ponderado se utiliza la expresión

$$G^* = \sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot G_r^{(s)}$$

donde $w^{(s)}$ son los pesos asociados a cada sistema, según la *Tabla 4.11*.

Para el cálculo de la gravedad resultante total del edificio G_w^* mediante el método WGB se utiliza la siguiente expresión:

$$G_w^* = \frac{\sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot G_{rw}^{(s)} \cdot w_{(\bar{s})}}{\sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot w_{(\bar{s})}}$$

donde $w_{(\bar{s})}$ son los pesos derivados de las respectivas funciones sigmoideas, dados en la expresión (4.23).

La *Tabla 4.19* presenta los valores G^* y G_w^* obtenidos mediante el método no ponderado y el método WGB, respectivamente, así como también mediante el método básico G_b^* , a través del uso de una hoja de cálculo en Excel.

Modelo	Caso	r	x_i	y_i	α	Gravedad del conjunto del edificio		
						H1	H2	H3
Básico	1	-				2,47	2,72	2,90
No ponderado	2	1	-	-	-	2,69	2,92	2,94
WGB	3	3	4,5	0,5	2	5,29	5,85	6,19
	4				3	5,33	5,89	6,23
	5				4	5,35	5,90	6,24
	6	4	6,0		3	5,47	6,14	6,55
	7		4,5		3	5,52	6,06	6,43
	8		6,0			5,65	6,30	6,75

Tabla 4.19. Gravedad del conjunto del edificio en el caso real

A continuación se hace un análisis de la influencia que tienen los valores r , x_i , y_i , α para la obtención de las gravedades resultantes de los sistemas $G_{rw}^{(s)}$ y de la gravedad del conjunto del edificio G_w^* .

Influencia del parámetro r

En la *Tabla 4.18* se observa comparando los casos de análisis 4 y 7 (y análogamente los casos 6 y 8) que al aumentar el parámetro r aumentan las gravedades resultantes de los sistemas $G_{rw}^{(s)}$ y por tanto también la gravedad del conjunto del edificio G_w^* , como se observa en la *Tabla 4.19* comparando nuevamente los casos de análisis 4 y 7 (y análogamente los casos 6 y 8). El aumentar el parámetro r se traduce físicamente en que se da más peso a aquellas partes del sistema en peor estado.

Influencia del parámetro α

Se observa en la *Tabla 4.18* que el aumentar el parámetro α (casos 3, 4 y 5) lógicamente no afecta los valores $G_{rw}^{(s)}$ ya que la función sigmoidea sirve para obtener los pesos $w_{(s)}$ que se aplican sobre los valores $G_{rw}^{(s)}$ para calcular el valor G_w^* . Sí en cambio se observa en la *Tabla 4.19* (casos 3, 4 y 5) que produce un aumento de G_w^* , ya que aumentar

el parámetro α se traduce físicamente en dar más importancia relativa a los sistemas en peor estado respecto a los sistemas en mejor estado.

Influencia del parámetro x_i

Se observa en la *Tabla 4.18* comparando los casos de análisis 4 y 6 (y análogamente los casos 7 y 8) que el aumentar el parámetro x_i nuevamente no afecta los valores $G_{rw}^{(s)}$ por la misma razón antes señalada, y sí se aprecia en la *Tabla 4.19* (comparando los casos anteriores) que produce un aumento de G_w^* , ya que aumentar el parámetro x_i produce una asimetría de la función sigmoidea hacia la derecha, lo que se traduce físicamente en que al número de sistemas en peor estado a los que se da más importancia relativa es menor, y que la diferencia de importancia relativa es mayor (mayores pesos $w_{(\bar{s})}$) para estos sistemas en peor estado.

4.6.10. Análisis de la aplicación al caso real

Mediante la aplicación de la metodología al caso real de un edificio, se puede observar al comparar los resultados que el método WGB recoge de manera más sensible la gravedad del edificio, al dar más peso a aquellas partes más degradadas, resultando valores claramente superiores a los que se obtienen en el método no ponderado (caso 2, donde no se aplican los pesos $w_i^{(s)}$ y $w_{(\bar{s})}$). Análogo comentario respecto al método básico (caso 1), el cual como se ha visto ya se descartaba de inicio por ser inadecuado.

Conviene notar que en el caso real del edificio, en el sistema 3 en la hipótesis 3 se ha producido ataque térmico a zona de cierta extensión (con zonas muy graves y zonas graves), y el resto es similar a la hipótesis 1. En esta hipótesis 3, como se ha visto, corresponde que un 40% de la superficie de los forjados tiene ataques térmicos de gravedad alta ($G = 7$) a gravedad muy alta ($G = 9$), lo que entre otras cosas implica que se debe desalojar el edificio o al menos una parte importante del mismo por razones de seguridad, y/o la realización de apuntalamientos. Teniendo en cuenta, como se ha visto, que una parte significativa del edificio está en buen estado, que resulte un valor de $G = 6,75$ (es decir $G \approx 7$, que significa gravedad alta), que es lo que resulta por el método WGB, es razonable.

Así, si se determinara un valor de G para el conjunto del edificio mediante asignación directa, asignar $G = 7$ sería razonable. En cambio nótese que en el caso 2 de la *Tabla 4.19* resulta para la misma hipótesis 3 un valor de $G = 2,94$ (es decir $G \approx 3$, que significa gravedad baja, deterioros leves), valor que no es apropiado para el estado global del edificio. Lógicamente y como era de esperar, tampoco es apropiado el método básico (caso 1 de la *Tabla 4.19*), mediante el cual resulta $G = 2,90$. Análogamente, si se determinara un valor de G para el conjunto del edificio mediante asignación directa, asignar $G = 3$ no sería razonable. Todo lo referido refuerza el hecho que se considera adecuado el método WGB en el que se da más peso a aquellas partes del edificio más degradadas.

Análogamente cabe destacar la facilidad de aplicación de la metodología por parte de un técnico, ya que a través de una hoja de cálculo en Excel, simplemente introduciendo los diferentes valores G_j y w_j correspondientes a cada sistema, se obtienen automáticamente todos los valores resultantes buscados.

También cabe decir que tal y como se puede deducir matemáticamente de forma elemental, en el caso de edificio que esté todo en buen estado (valores G_j bajos), o todo en mal estado (valores G_j altos), o de forma más genérica con muy poca variabilidad entre valores G_j , las gravedades resultantes para sistemas $G_{rw}^{(s)}$ o para el conjunto del edificio G_w^* son muy similares ya sea utilizado el método propuesto (WGS/WGB), o el método básico (fila 1 de las *Tablas 4.18 y 4.19*), o el método propuesto (pero sin aplicar pesos de gravedad (fila 2 de las *Tablas 4.18 y 4.19*)).

En efecto, a nivel sistema tenemos las expresiones

$$G_r^{(s)} = \sum_{i=1}^4 \frac{m_i^{(s)}}{4} ; \quad G_{rw}^{(s)} = \sum_{i=1}^4 w_i^{(s)} \cdot m_i^{(s)},$$

Y en el supuesto que $\text{Var } G_j \approx 0$, obtendremos que los valores $m_i^{(s)}$ son similares entre sí, lo que implicará que el efecto de los pesos $w_i^{(s)}$ será casi nulo, de manera que $G_r^{(s)} \approx G_{rw}^{(s)}$. Si analizamos las condiciones de contorno y tenemos un sistema que tiene el mismo grado de gravedad (por tanto el mismo valor de G) en todo el sistema, aplicando el mismo razonamiento se llega a la conclusión que $G_r^{(s)} = G_{rw}^{(s)}$.

A nivel edificio tenemos las expresiones

$$G^* = \sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot G_r^{(s)} ; \quad G_w^* = \frac{\sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot G_{rw}^{(s)} \cdot w_{(\bar{s})}}{\sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot w_{(\bar{s})}},$$

si del razonamiento anterior a nivel sistema tenemos que $G_r^{(s)} \approx G_{rw}^{(s)}$, implica que el efecto de los pesos $w_{(\bar{s})}$ es casi nulo, de manera que $G^* \approx G_w^*$. En particular, si analizamos las condiciones de contorno y tenemos un edificio que tiene en todos los sistemas el mismo grado de gravedad (por tanto el mismo valor $G_{rw}^{(s)}$), aplicando el mismo razonamiento se llega a la conclusión que $G^* = G_w^*$.

4.7. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

El objeto de esta Sección es doble, por un lado resaltar las partes fundamentales de la aportación realizada en el presente Capítulo, que es definir una propuesta de escala de gravedad de elementos constructivos para edificios, y por otro lado servir de enlace con los Capítulos 5 y 6.

La parte inicial de la metodología está basada en el método de asignación directa (AD) en base a las definiciones genéricas de la escala que se propone, con grados o índices de gravedad (G) que van de $G = 0$ a $G = 10$. Este método se utiliza para determinar el valor G de zonas concretas (zona concreta de un elemento constructivo, como por ejemplo una zona de un forjado, una zona de una fachada, una zona de un pilar, una zona de un balcón, etc.). Habrá casos en que aquí finalice la aplicación del método, si el objeto del estudio es valorar la gravedad de deficiencias del edificio, sin necesidad de valorar la gravedad global de un sistema o del conjunto del edificio.

En caso que se precise determinar la gravedad global de un sistema o del conjunto del edificio se proponen dos métodos alternativos, a utilizar según el tiempo que se deba dedicar al estudio y el grado de precisión requerido en el mismo. Un método es el de AD en base a las definiciones genéricas de la escala, mientras que el otro es utilizar método de cálculo a partir de los valores G_j asignados a cada zona j . El método de cálculo se compone del método WGS para determinar la gravedad total de un sistema, y el método WGB para determinar la gravedad total del edificio.

En el método de asignación directa (AD) en base a las definiciones genéricas de la escala, que se usa en la parte inicial de la metodología, así como método alternativo para valorar la gravedad de un sistema o del edificio, se prevé cierto grado de variabilidad entre los técnicos al asignar valores G , ya que lo que se trata de valorar son atributos difusos (grado de gravedad de un elemento constructivo). Por lo tanto resulta de interés analizar el grado de variabilidad entre los técnicos al asignar valores G , de qué parámetros depende dicha variabilidad, y cuál es el número óptimo de grados para esta escala utilizada mediante el método AD. Este análisis se desarrolla en el Capítulo 5.

Análogamente, con objeto de reducir la variabilidad que se produce en el método AD, resulta de interés tener un método para determinar valores G de elementos constructivos basado en indicadores y expresiones matemáticas. Esta metodología, aplicada a fachadas, se desarrolla en el Capítulo 6, y la denominamos SEF (Sistema de Evaluación de Fachadas).

CAPÍTULO 5

VALIDACIÓN DE LA ESCALA PROPUESTA

5.1. INTRODUCCIÓN

Si en el Capítulo 4 se realiza la propuesta de una escala de gravedad de elementos constructivos para edificios; el objetivo de este capítulo es validar la escala propuesta y analizar su aplicabilidad. Para ello se han realizado una serie de “ensayos” en los que se muestran 33 imágenes de elementos constructivos a una población de 374 técnicos, para que les asignen un grado de gravedad G a cada imagen según las definiciones genéricas de la escala, con objeto de analizar, entre otros muchos aspectos, si entre los técnicos hay alta o baja variabilidad al asignar valores de G .

De los datos recogidos (12.342 valores de G asignados) se realiza un análisis estadístico, donde se analizan y relacionan diversos aspectos y se utilizan variadas técnicas matemáticas, tales como estadística descriptiva (medias aritméticas, desviaciones tipo, densidades, frecuencias, histogramas, etc.), regresión logística binaria y clustering, utilizándose para ello el programa de análisis estadístico Minitab.

Para conseguir el objetivo señalado se ha seguido una metodología compuesta de varios procesos relacionados, que a su vez se pueden agrupar en tres fases principales, y que se presentan en la *Figura 5.1*.

Como paso previo se ha hecho una prospección de búsqueda de procedimientos de validación de escalas. Cabe decir que de las nueve escalas analizadas en la Sección 4.3 así como de las doce escalas del ámbito de la construcción analizadas en la Sección 4.4, no se tiene constancia de que se utilizara ningún sistema de validación.

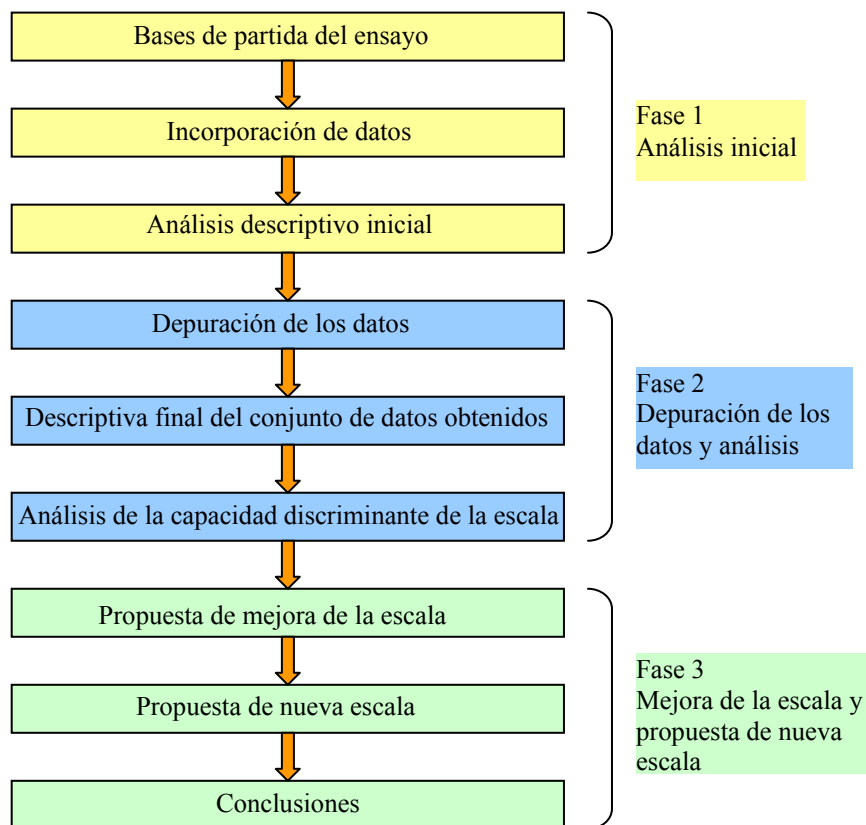


Figura 5.1. Metodología para la validación de la escala propuesta

Roche (2008) presenta una metodología para la construcción y validación de escalas, que se utiliza para escalas subjetivas, y en la que se utiliza como herramienta el análisis factorial. Los métodos de análisis factorial son apropiados cuando se cuenta con una gran cantidad de variables, ya que tienen un alto poder de reducción de información y facilitan el diseño y agregación de variables. Se basan en el análisis de la interrelación de una larga lista de indicadores o variables con miras a comprender la estructura subyacente, haciendo posible reducirlo a un número manejable de variables agregadas.

A continuación se explican las distintas fases del método presentado en la *Figura 5.1*, así como los resultados obtenidos y sus correspondientes análisis.

5.2. FASE 1: ANÁLISIS INICIAL

5.2.1. Bases de partida del ensayo

Como se ha visto en el Capítulo 4, en la escala propuesta el método de determinar valores de G es a través de asignación directa, en base a las definiciones de cada valor de G y los criterios adicionales que se dan en la escala. Por ello, el método utilizado para analizar el funcionamiento de la escala ha sido realizar un cuestionario a una determinada población de técnicos. Dicho cuestionario consta de imágenes de elementos constructivos,

y los técnicos les debían asignar el valor de G que estimaran oportuno a través de asignación directa en base a las definiciones genéricas que se dan en la escala propuesta.

Las bases de partida del ensayo realizado son las siguientes:

- Características de las imágenes seleccionadas de los elementos constructivos
- Características de la muestra de la población de técnicos
- Cuestionario a rellenar por los técnicos

Características de las imágenes seleccionadas de elementos constructivos

El número de imágenes de elementos constructivos que se han mostrado a los técnicos ha estado determinado por los siguientes aspectos, complementarios entre sí:

- El número no sea muy elevado, ya que si no, difícilmente, se podría encontrar técnicos dispuestos a rellenar el cuestionario.
- El número sea suficiente elevado como para obtener datos suficientemente consistentes para ser analizados estadísticamente.
- El número sea suficiente elevado para que haya representatividad de diferentes tipos de elementos constructivos, como fachadas, vigas de madera, vigas de hormigón armado, balcones, perfiles metálicos, paredes de tapia, pilares, etc.

El número de 33 imágenes se ha considerado adecuado para los criterios antes citados. Además, este número posibilita que para cada grado de la escala, once grados en total (de $G = 0$ a $G = 10$), haya 3 imágenes, con objeto de que el estudio estadístico sea equilibrado. Cabe decir, que desde un punto de vista estadístico, sería suficiente que hubiera una imagen para cada grado, es decir, 11 imágenes en total, dado el elevado número de técnicos que participan en el ensayo. El hecho que haya 3 imágenes en vez de 1 para cada grado, permite recoger no sólo la variabilidad entre técnicos sino también la variabilidad de cada técnico para cada grado.

La escala que se propone validar permite, mediante el método de asignación unipersonal, asignar a cada imagen un valor G de referencia o patrón (GR). Las tipologías de elementos constructivos de las imágenes están repartidas aleatoriamente entre los diferentes valores GR .

Para la implementación del trabajo de campo no se ha informado a los técnicos que han rellenado el cuestionario del hecho que haya 3 imágenes para cada valor GR , así como que cada imagen ya tiene un valor GR asignado, para garantizar la independencia de las asignaciones de los técnicos y evitar sesgo en el estudio.

La *Figura 5.2* muestra las imágenes del cuestionario en el mismo orden en que se pasaron a la totalidad de técnicos participantes en el ensayo. Cabe decir que en la realización del trabajo de campo, los técnicos rellenaban el cuestionario en su casa, dedicando todo el tiempo que les hiciera falta, y las imágenes las podían ver en formato digital con gran resolución.



Figura 5.2. Imágenes de elementos constructivos que formaban parte del ensayo



Figura 5.2 (Cont.). Imágenes de elementos constructivos que formaban parte del ensayo



Figura 5.2 (Cont.). Imágenes de elementos constructivos que formaban parte del ensayo

Características de la muestra de población de técnicos

El cuestionario a rellenar se ha entregado en 22 cursos en los que el doctorando ha participado como profesor, desde noviembre del 2010 hasta julio del 2011, en diferentes ámbitos: colegios profesionales (aparejadores y arquitectos), diputaciones, ayuntamientos y universidad. Los cursos estaban dedicados a diferentes temas relacionados, directa o indirectamente, con la diagnosis de patología y terapéutica (diagnosis-terapéutica, ITE, pericia forense, valoraciones, ingeniería municipal, etc.), y se presentan en la *Tabla 5.1*.

La numeración de los cursos en dicha tabla se ha realizado en base a la fecha en que fueron realizados. Igualmente los cursos se agrupan en la *Tabla 5.1* según el nombre del curso, la institución donde se impartió, y la ciudad donde se impartió, según este orden.

En la toma de muestras se consideró oportuno que el rellenar el cuestionario fuera voluntario, no obligatorio, y que no influyera en absoluto para la obtención del título correspondiente o en la nota final del curso, si bien sí se destacaba la utilidad práctica para los alumnos de realizar el cuestionario.

Cabe resaltar que aun siendo voluntario el rellenar el cuestionario, una gran parte de los técnicos-alumnos que asistieron a los referidos cursos, sobre un 70% aproximadamente del total, rellenaron el cuestionario, siendo realmente de agradecer tan buena predisposición. Como se ha referido, el número total de técnicos que han rellenado el cuestionario ha sido de 374. La mayor parte de los técnicos han sido arquitectos técnicos (o ingenieros de edificación o aparejadores) y arquitectos. Esto obedece a que la mayor parte de los cursos se han realizado en el Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i

Enginyers d'Edificació de Barcelona (CAATEEB) y en el Col·legi d'Arquitectes de Catalunya (COAC).

Nº curso	Nombre del curso	Institución donde se impartió	Ciudad	Fecha
1	Inspecciones ITE. Diagnosis y terapéutica de edificios existentes	CAATEEB	Barcelona	Noviembre 2010
9				Marzo 2011
10				
11				
14				
16				Mayo 2011
17			Junio 2011	
8			Vic	Marzo 2011
15			Vilafranca	Mayo 2011
18			Granollers	Junio 2011
19			Terrassa	
21			Mataró	Julio 2011
22			Manresa	
2			Postgrado de rehabilitación	COAC
5	Barcelona	Febrero 2011		
12		Abril 2011		
20		Junio 2011		
3	Postgrado de pericia	CAATEEB	Barcelona	Enero 2011
4	Postgrado de valoraciones	CAATEEB		Enero 2011
6	Intervención de las adm. públicas en edificios particulares en mal estado	Diputación		Febrero 2011
7		Ayuntamiento	Palma de Mallorca	Diciembre 2010
13	Master en ingeniería estructural y de la construcción	ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona	Barcelona	Abril 2011

Tabla 5.1. Relación de cursos donde se pasaron los cuestionarios

Cuestionario a rellenar por los técnicos

A los técnicos de estos cursos se les propuso realizar el cuestionario de la *Figura 5.3*, consistente en evaluar las imágenes de elementos constructivos asignándoles a cada elemento constructivo un valor de G en base a las definiciones generales de la escala.

Titulación:
 Años de experiencia general relacionada con construcción:
 Años de experiencia específica en patología:
 Formación específica en patología (nombre del curso o cursos y duración en horas):

Nº de imagen	G	Observaciones
1		
2		
3		
		.
		.
		.
31		
32		
33		

Tiempo empleado:
 Observaciones sobre la escala:

Figura 5.3. Cuestionario para la aplicación de la escala

Todos los campos del cuestionario eran obligatorios de rellenar, a excepción de la columna de observaciones y el campo final de observaciones sobre la escala, que eran opcionales.

5.2.2. INCORPORACIÓN DE LOS DATOS

A medida que se iban obteniendo los cuestionarios rellenados se organizaban todos los datos obtenidos en tablas, utilizando el programa Excel (ver *Figura 5.4*). Estos datos totales en tablas Excel están en el Anexo III. El diseño de la tabla realizada en Excel consta de filas destinadas a cada uno de los técnicos participantes, y de columnas con los siguientes datos:

- **ID:** Identificador del técnico participante. A cada curso y a cada alumno le corresponde un número, por tanto el identificador, por ejemplo, del técnico del curso nº3 y siendo alumno nº2 (02) le corresponde ID = 302.
- **Tit:** Titulación del técnico participante, donde se aplican los siguientes códigos:
 - Arquitecto: **a**
 - Arquitecto Técnico: **at**
 - Ingeniero de Caminos: **ic**
 - Ingeniero de Edificación: **ie**
 - Ingeniero de Obras Públicas: **iop**
 - Ingeniero Técnico Industrial: **iti**
- **Exp-con:** Años de experiencia en construcción.
- **Exp-pat:** Años de experiencia en diagnóstico y terapéutica de patología.

- **Formac:** Grado de formación específica en diagnosis y terapéutica de edificios. Se asignan los siguientes valores según las horas de formación:
 - **0:** menos de 10 horas
 - **1:** entre 11 y 40 horas
 - **2:** entre 41 y 100 horas
 - **3:** más de 101 horas
- **t:** Tiempo, en minutos, utilizado para rellenar el cuestionario.
- **1 a 33:** Las 33 imágenes de elementos constructivos. Debajo de cada uno de estos números de 1 a 33, hay otro número con el valor de G de referencia o patrón (GR) para la imagen del elemento constructivo correspondiente (en la fila 4 de la tabla Excel). Así, en la columna con el número 1 aparece el valor de GR para la imagen número 1 (que en este caso es 3), en la columna 2 aparece el valor de GR para la imagen número 2 (que en este caso es 5), y así sucesivamente hasta la imagen número 33. Debajo están los valores de G asignados por los técnicos (GA) para cada imagen.

Si bien el planteamiento era unívoco, es decir que a cada imagen le debía ser asignado un valor de G , en la campaña de campo se han dado dos tipos de excepciones, que aún siendo poco presentes en los datos recogidos, se considera conveniente que sean tratadas en aras a una más detallada explicación del método utilizado. Estas dos casuísticas son las siguientes:

- Si un técnico asigna dos valores de G a una imagen en vez de un valor, se registra la media entre estos dos valores, los cuales son consecutivos menos en un caso. Cabe decir que el número de casos en que se da esta circunstancia es muy reducido, tan sólo en un 1,2% del total de los valores de G asignados.
- El caso de los valores no observados, cuando un técnico no indica ningún valor de G en una imagen. Cabe decir que su número es todavía más reducido que el caso anterior, tan sólo en un 0,1% del total de los valores de G asignados por los técnicos encuestados la casilla ha quedado en blanco y se trata como valor no observado (*missing*).

5.2.3. Análisis descriptivo inicial

Como primer análisis es útil para determinar el carácter de una distribución conocer diversos estadísticos como la media aritmética y la desviación tipo de la totalidad de los valores a analizar. La metodología empleada para realizar el análisis descriptivo inicial consta de las siguientes partes:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		técnico					tiempo		Imágenes (de número 1 a 33)				
2		particip.	titulac.				(minutos)		1	2	3	4	5
3		ID	tit	exp-con	exp-pat	formac	t				GR		
4									3	5	0	7	
5		101	a	2.5	0	1	90		2	6	0	8	
6		102	at-a	7	0	1	15		3	7	GA	0	7
7		103	at	5	1	1	35		3	5	1	5	
8		104	at	5	0	1	25		2	5	0	6	
9		105	at	8	2	1	120		2	7	0	6	
10		106	at	13	0	1	180		3	8	3	9	
11		107	at	17	0	1	60		3	6	0	7	
12		108	at	13	0	1	40		1	5	1	7	
13		109	at	6	0	1	60		4	7	0	8	
14		201	a	13	5	1	75		1	4	0	8	
15		202	a	6	0	1	60		2	4	0	5	
16		203	a	3	1	1	90		1	7	1	6	
17		204	at-a	3	0	1	60		4	6	1	7	
18		205	a	2	0	1	57		2	7	0	7	
19		206	a	9	0	1	60		2	5	0	7	
20		207	a	9	0	1	25		1	6	0	7	
21		208	a	7	0	1	60		3	6	0	8	
22		209	a	15	0	1	60		2	6	0	9	
23		210	a	4	1	1	30		4	8	0	7	
24		211	a	14	0	1	165		2	7	0	8	
25		212	a	6	0	1	90		1	5	0	6	
26		213	a	22	0	1	35		2	5	0	7	
27		214	a	17	0	1	210		4	7	0	8	
28		215	a	8	5	3	20		1	6	0	4	
29		301	at	30	6	1	50		1	6	0	7	
30		302	eje	0.5	0	1	100		1	4	0	6	

Figura 5.4. Imagen de pantalla (Excel) de la estructura de datos

- Media aritmética y desviación tipo
- Análisis de las imágenes por grupos con el mismo valor GR (G de referencia o patrón)
- Análisis de las desviaciones de los valores GA (valores G asignados por los técnicos) respecto de los valores GR
- Análisis según la titulación de los técnicos participantes
- Análisis de los técnicos participantes por intervalos de diferencia

Media aritmética y desviación tipo

Los resultados de la media aritmética y la desviación tipo de la totalidad de los valores a analizar se presentan en la *Tabla 5.2*. En dicha tabla se presenta, para cada imagen, su valor de G de referencia o patrón (GR) correspondiente, la media aritmética de los valores de G asignados por los técnicos que han rellenado el cuestionario (\overline{GA}), la desviación tipo (σ_{GA}), y la diferencia $\overline{GA} - GR$.

Como primer análisis de los datos recogidos en la *Tabla 5.2* se tiene que la desviación tipo varía desde un mínimo de 0,61 para la imagen 23 ($GR = 10$), a un máximo de 2,23 para la imagen 8 ($GR = 2$). Análogamente la diferencia ($\overline{GA} - GR$) varía desde un mínimo de -0,01 para la imagen 26 ($GR = 5$) a un máximo de 1,74 para la imagen 22 ($GR = 4$). Estos aspectos serán tratados con más detalle en apartados posteriores.

Por otra parte, del análisis de la tabla Excel que queda parcialmente recogida en la *Figura 5.4* se obtiene, entre otras cosas, que el tiempo utilizado por los técnicos para rellenar el cuestionario tiene una media aritmética de 58,52 minutos, y una desviación tipo de 47,14, es decir, que hay una gran variabilidad en el tiempo para rellenar el cuestionario, habiendo desde técnicos que han tardado 15 minutos, a otros que han tardado más de 2 horas.

Imagen	GR	\overline{GA}	σ_{GA}	$\overline{GA} - GR$	Imagen	GR	\overline{GA}	σ_{GA}	$\overline{GA} - GR$
1	3	2,59	1,19	-0,41	18	2	3,24	1,40	1,24
2	5	6,40	1,05	1,40	19	9	7,82	1,15	-1,18
3	0	0,20	0,71	0,20	20	5	5,72	1,52	0,72
4	7	7,39	1,17	0,39	21	1	0,49	1,01	-0,51
5	9	7,90	1,03	-1,10	22	4	5,74	1,52	1,74
6	1	1,92	1,53	0,92	23	10	9,81	0,61	-0,19
7	3	4,35	1,27	1,35	24	7	7,69	1,04	0,69
8	2	2,41	2,23	0,41	25	0	1,19	1,16	1,19
9	8	7,75	1,34	-0,25	26	5	4,99	1,37	-0,01
10	7	6,79	1,06	-0,21	27	9	8,51	1,18	-0,49
11	10	9,07	1,06	-0,93	28	1	1,72	1,13	0,72
12	6	7,16	1,28	1,16	29	10	8,38	1,19	-1,62
13	4	4,65	1,35	0,65	30	8	8,43	1,12	0,43
14	3	3,91	1,70	0,91	31	2	2,54	1,47	0,54
15	6	7,01	1,26	1,01	32	4	4,57	1,33	0,57
16	8	6,56	1,39	-1,44	33	6	6,16	1,25	0,16
17	0	0,73	1,36	0,73					

Tabla 5.2. Media aritmética y desviación tipo de los valores recogidos

Análisis de las imágenes por grupos con el mismo valor GR

En este apartado se realiza un análisis de los resultados obtenidos para cada valor de G de referencia o patrón (GR). Para ello se ha realizado una tabla para cada valor de GR , donde se aprecia qué valores de G han asignado los técnicos participantes (GA) a cada una de las 3 imágenes que hay para cada valor de GR . Igualmente cada tabla tiene tres gráficos relacionados, un gráfico para cada una de las tres fotografías pertenecientes al mismo valor de GR y un gráfico boxplot (también denominado *box-and-whisker diagram* o *plot*, y en castellano también gráfico de caja) para el conjunto de las tres fotografías.

Para la construcción de un gráfico boxplot se utilizan cinco estadísticos de la distribución de frecuencias: el mínimo, el primer cuartil, la mediana, el tercer cuartil y el

máximo (Turkey et al., 1978). También se indica la posición de la media y aporta la siguiente información:

- Proporciona la posición relativa de la mediana, los cuartiles y los extremos de la distribución.
- Proporciona información sobre los datos apartados de la muestra, sugiriendo la necesidad o no de utilizar determinados estadísticos.
- Informa de la simetría o asimetría de la distribución.
- Compara varias muestras (cada grado indistintamente) con una misma variable (la media).

En la *Figura 5.5* se muestra un ejemplo explicativo, correspondiente en este caso a $GR = 5$.

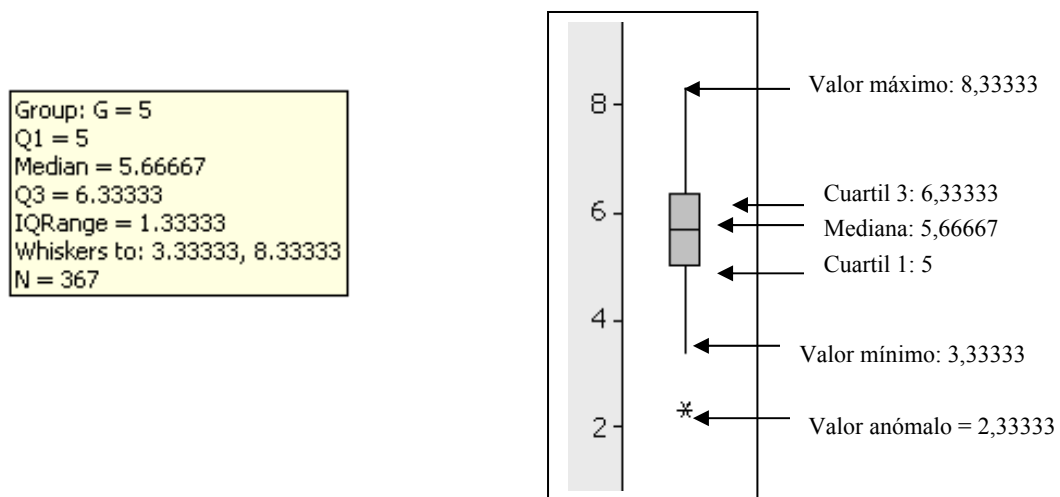


Figura 5.5. Ejemplo explicativo de boxplot

Análogamente se realiza el análisis de las desviaciones de los valores de G asignados por los técnicos (GA) respecto de los valores de G de referencia o patrón (GR) y con qué desviación (de +10 a -10), utilizando el mismo criterio de agrupamiento de imágenes antes referido. Una vez calculadas las desviaciones, se ha contabilizado a todos los participantes del cuestionario desde la desviación -10 a la desviación +10, sabiendo que en la desviación 0 se tienen todos los participantes de la muestra que han valorado la imagen con el valor GR . También se ha contabilizado para cada fotografía a los participantes que han tenido dudas entre dos valores de la escala (en el gráfico: “dudas”) y a aquellos que no han puesto ningún valor (en el gráfico: “sv”).

Con objeto de tener una clara visualización de los resultados obtenidos, para cada valor de GR quedan recogidos los resultados correspondientes en una tabla y en una gráfica que muestra las desviaciones, correspondiendo a cada imagen una curva de color diferente. Se puede apreciar que las curvas tienden a tener forma de Campana de Gauss.

Por todo lo referido existen 11 grupos de tablas y gráficas, uno para cada valor de GR , desde $GR = 0$ hasta $GR = 10$, cuyos resultados completos se muestran en el Anexo III. Con objeto de reducir el cuerpo principal de la tesis, en la memoria sólo se incluyen 3 de estos grupos de tablas y gráficas ($GR = 0$, $GR = 3$ y $GR = 7$) para que el lector pueda entender el método empleado y la tipología de resultados obtenidos. El primero se ha seleccionado por ser uno de los extremos, el segundo por estar en el tramo leve y el segundo por estar en el tramo grave.

Grado G de referencia o patrón cero ($GR = 0$)

En la *Tabla 5.3* y *Figuras 5.6, 5.7 y 5.8* se presentan los datos correspondientes al grado 0 ($GR = 0$).

	FOT.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DUDAS	SV
GR=0	Nº 3	325	36	4	4	0	2	0	0	1	0	0	1	1
	Nº 17	255	45	25	25	8	10	1	2	0	0	0	2	1
	Nº 25	104	170	52	30	10	4	2	1	0	0	0	1	0

Tabla 5.3. Distribución de frecuencias de las respuestas GA para $GR=0$

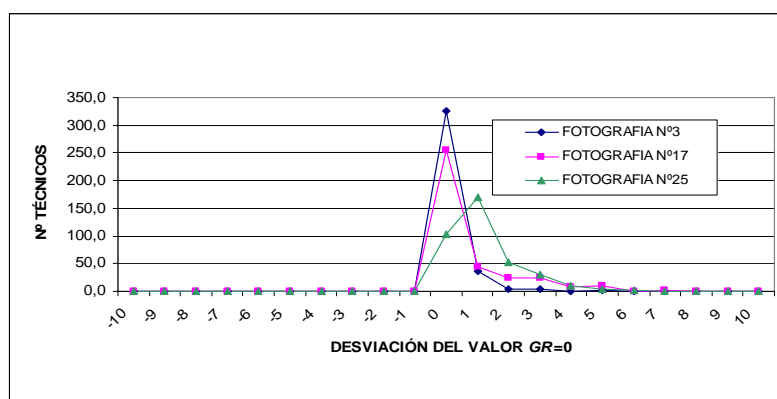


Figura 5.6.- Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=0$

En el eje horizontal de la *Figura 5.8* está cada una de las 3 observaciones (1, 2 y 3) para $GR = 0$, que corresponden a las fotografías números 3, 17 y 25 respectivamente, mientras que en el eje vertical están los diferentes valores de G asignados por los técnicos encuestados (GA). Se observa en los gráficos que hay más dispersión entre las respuestas dadas para la fotografía nº 25 que para la fotografía nº3, siendo la fotografía nº17 un gráfico intermedio entre los otros dos.

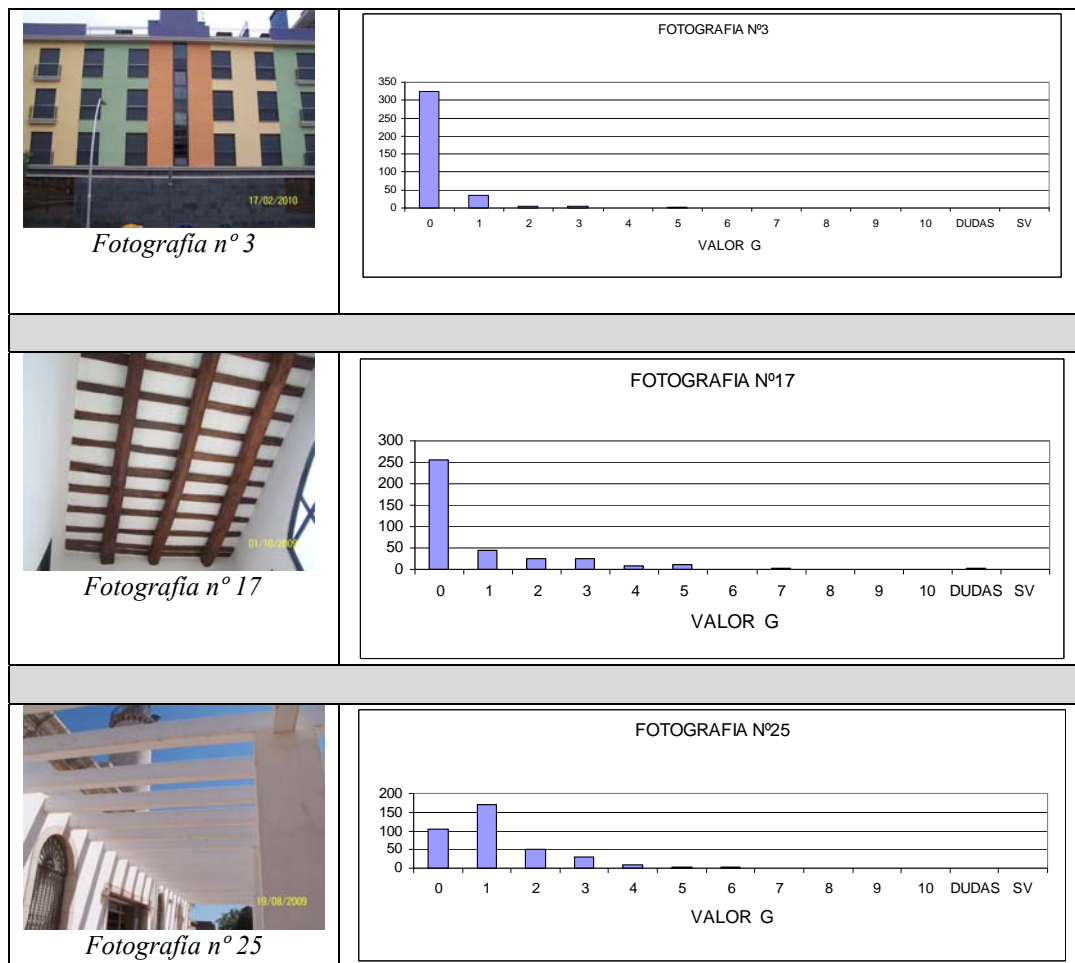


Figura 5.7.- Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías nº 3, 17 y 25 ($GR=0$)

Hay más frecuencia de respuesta correcta en la fotografía nº 3, con 325 técnicos de la muestra que han valorado la fotografía con $G = 0$. En contra, en la fotografía nº 25, hay más frecuencia de respuesta para el $G = 1$ con 170 técnicos de la muestra. Esto puede ser debido a que algunas sombras y pequeñas manchas existentes en esta imagen hayan inducido a bastantes técnicos a marcar el valor $G = 1$, en vez del valor objetivo $GR = 0$. Se observa que a menor dispersión mayor proporción de valores anómalos. Este hecho es consecuencia de la concentración de observaciones en un valor concreto ($GR = 0$).

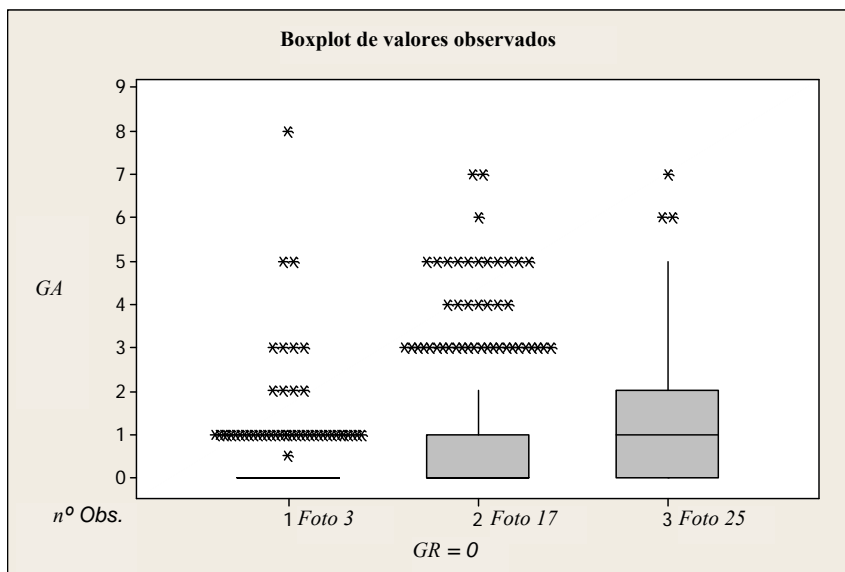


Figura 5.8.- Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 3, 17 y 25 (GR=0)

Grado G de referencia o patrón tres (GR = 3)

En la Tabla 5.4 y Figuras 5.9, 5.10 y 5.11 se presentan los datos correspondientes al grado 3 (GR = 3).

GR=3	FOT.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DUDAS	SV
	Nº 1	1	81	99	96	80	12	1	1	0	0	0	3	0
	Nº 7	1	4	21	56	133	86	8	9	3	0	0	3	0
	Nº 14	3	18	55	85	95	48	43	15	5	2	2	3	0

Tabla 5.4. Distribución de respuestas GA para GR=3

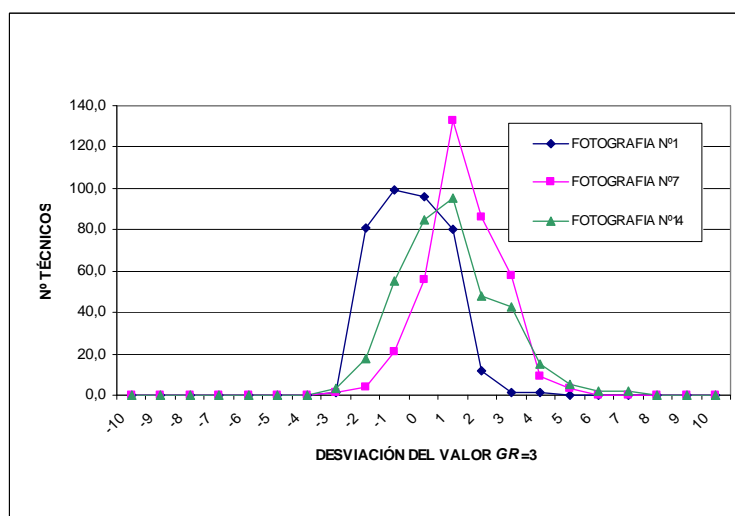


Figura 5.9. Distribución de la desviación (Dev = GA – GR) para GR=3

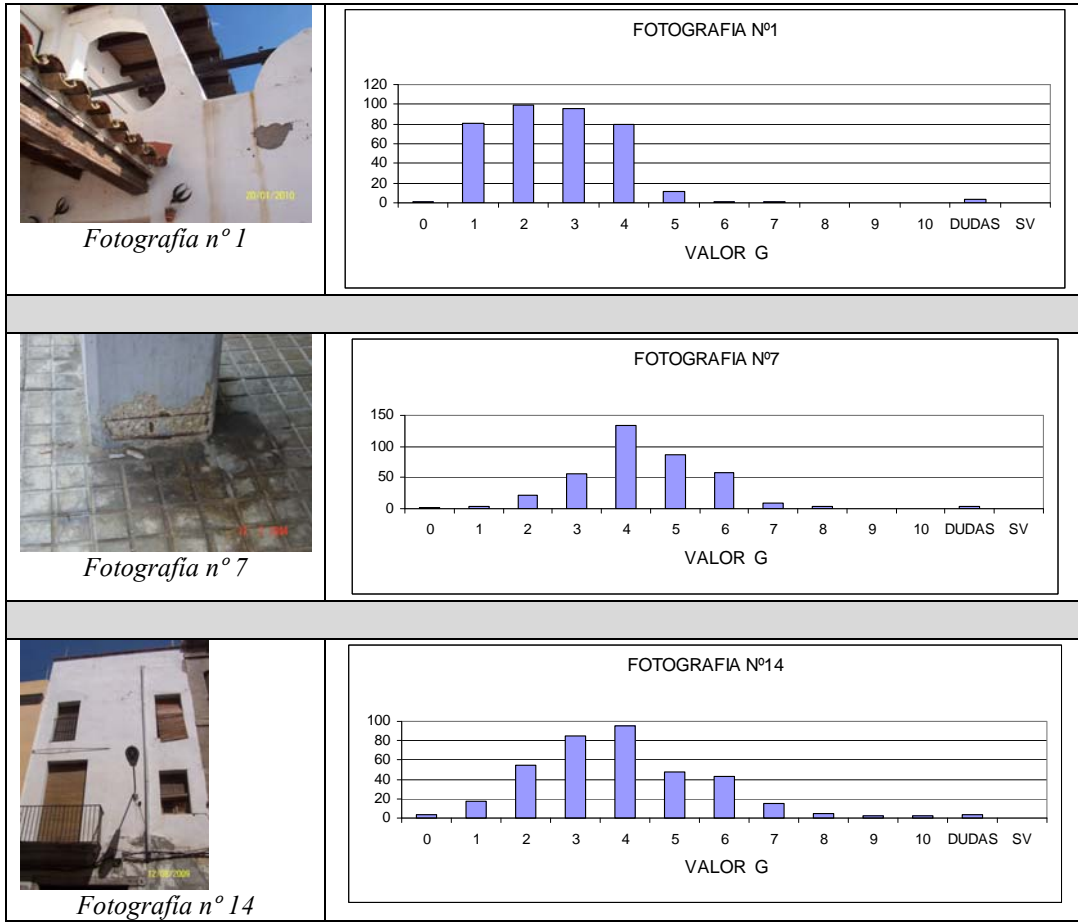


Figura 5.10. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 1, 7 y 14 (GR=3)

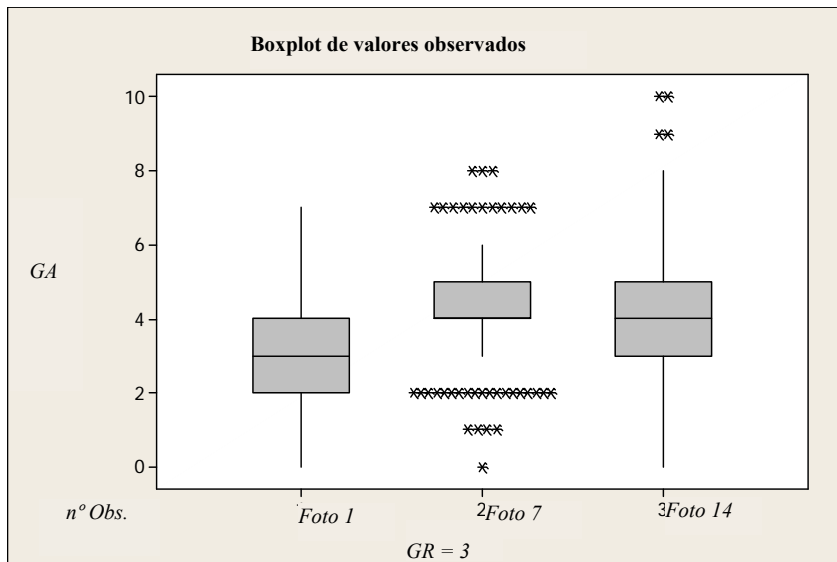


Figura 5.11. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 1, 7 y 14 (GR=3)

Se observa en los gráficos de la *Figura 5.11* que las fotografías nº1, nº7 y nº14 tienen similar dispersión, siendo la fotografía nº7 la que menor dispersión tiene. Que la dispersión sea significativa para las tres fotografías muestra que tal y como se ha explicado, la escala propuesta con sus definiciones genéricas para cada valor de G , producen que indefectiblemente haya cierto grado de variabilidad a la hora de asignar valores entre diferentes decisores, teniendo en cuenta además que lo que se trata de evaluar son atributos difusos (grado de gravedad de elementos constructivos).

La frecuencia de respuesta más elevada no se encuentra, en ninguna de las tres fotografías, en el valor G de referencia, es decir, $GR = 3$, sino que la máxima frecuencia en la fotografías nº7 y nº14 está en $G = 4$ y en la fotografía nº1 está en $G = 2$, aunque en este caso existe una frecuencia de respuesta casi igual para $G = 3$. En porcentajes, hay un 21,07% de todas las respuestas dadas para el valor de G de referencia, $GR = 3$.

En la fotografía nº7, hay cierto deterioro en la parte inferior de un pilar de hormigón armado, debido principalmente a la insuficiencia de recubrimiento (la armadura está casi en superficie), a un fenómeno de carbonatación del hormigón y oxidación muy leve de las armaduras, probablemente acentuado por agentes exteriores agresivos, como ácido úrico proveniente de orines de perros, por lo que se deduce de la mancha oscura existente en el pavimento que rodea parte del pilar. Este deterioro leve, por el hecho de que le falte parte del revestimiento al pilar y las armaduras estén a la vista, ha podido inducir a bastantes técnicos a marcar un valor de G superior al objetivo, GR .

En la fotografía nº 14, la mancha de color oscuro que hay en la parte de la fachada, que corresponde a una reparación realizada con mortero de cemento Pórtland, tal vez haya sido interpretado por algunos técnicos como una humedad u otra deficiencia, induciendo a que marquen un valor de G superior al objetivo, GR .

El gráfico Boxplot confirma la semejanza entre las dispersiones de las respuestas dadas, siendo menor la dispersión en la fotografía nº 7, y que a su vez esta tiene más valores anómalos que el resto de fotografías. Se observa nuevamente que a menor dispersión mayor proporción de valores anómalos.

Grado G de referencia o patrón siete ($GR = 7$)

En la *Tabla 5.5* y *Figuras 5.12*, *5.13* y *5.14* se presentan los datos correspondientes al grado 7 ($GR = 7$).

	FOT.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DUDAS	SV
GR=7	Nº 4	1	0	0	0	3	9	61	127	111	50	8	4	0
	Nº 10	0	0	0	0	6	35	96	141	71	17	0	8	0
	Nº 24	0	0	0	0	2	7	36	99	146	68	8	8	0

Tabla 5.5. Distribución de respuestas GA para GR=7

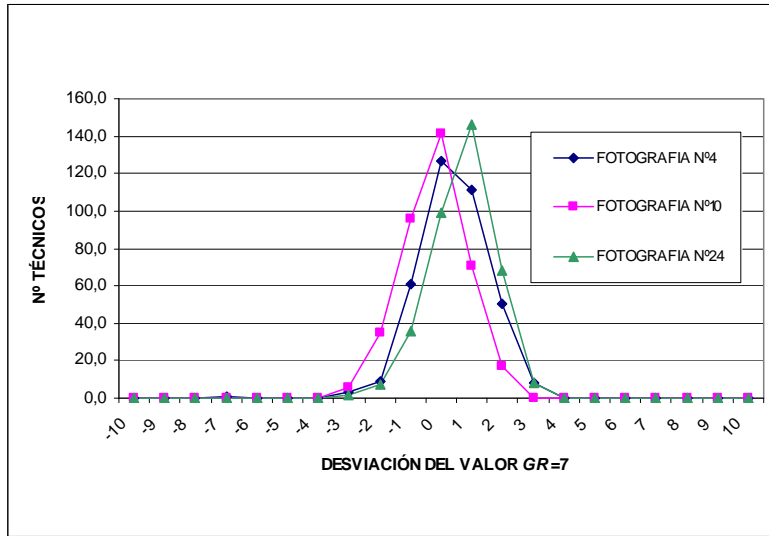


Figura 5.12. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=7$

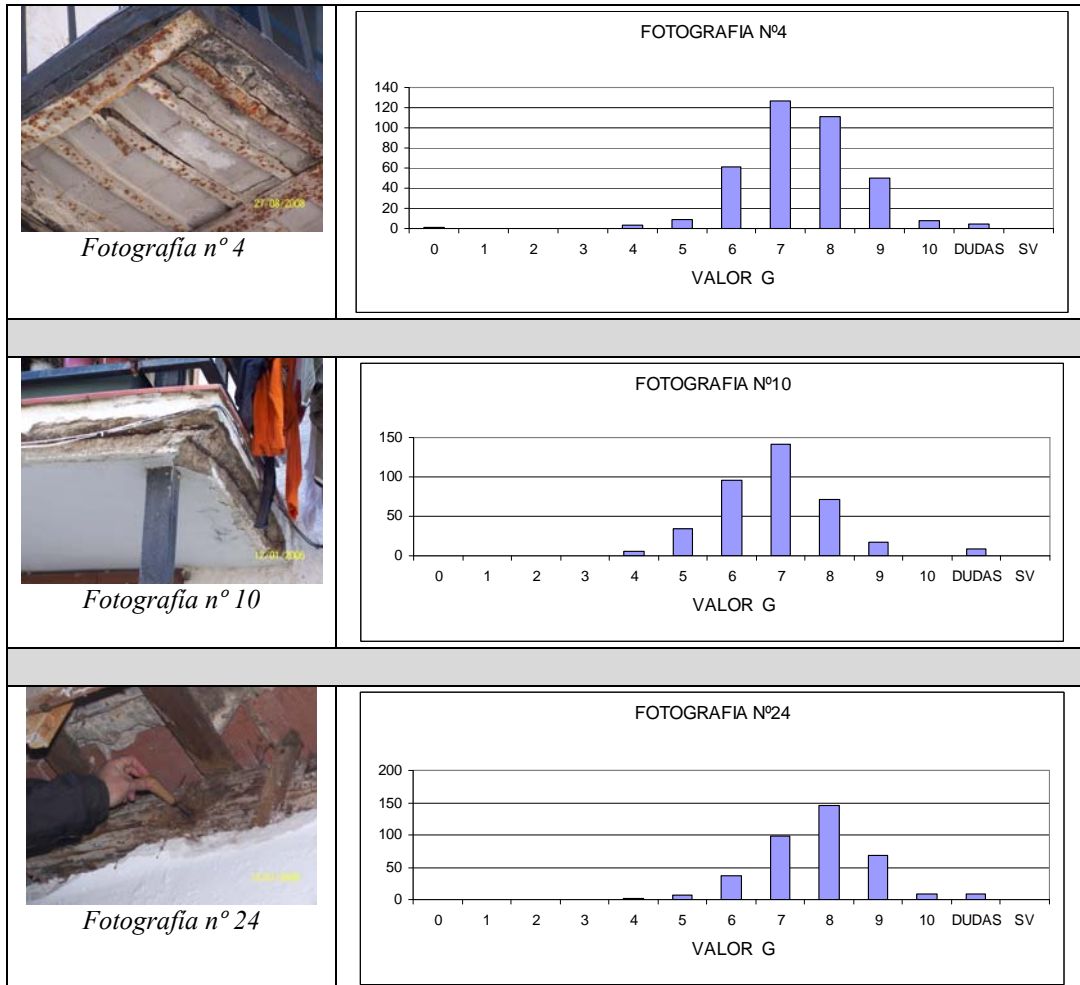


Figura 5.13. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 4, 10 y 24 ($GR=7$)

En los gráficos de las *Figuras 5.13 y 5.14* se observa que la dispersión es muy parecida para las tres fotografías, estando la mayoría de respuestas dadas entre $G = 6$ y $G = 8$. La mayor frecuencia, para las fotografías nº4 y nº10, se encuentra en el valor G de referencia, $GR = 7$, mientras que para la fotografía nº24 la mayor frecuencia de respuestas se encuentra para $G = 8$. En esta fotografía se aprecia significativa pérdida de sección resistente en viga de madera, debido muy posiblemente a ataque de termita en base a los síntomas observados (esta sintomatología se explica en el Anexo II y en Ruiz (2012)). El punzón clavado en la madera ayuda a tener una idea de la pérdida de sección resistente y que la lesión se considere grave y por tanto le corresponda $GR = 7$. Es posible que bastantes técnicos hayan considerado que la pérdida de sección resistente es algo superior a la real, por lo que han marcado $G = 8$.

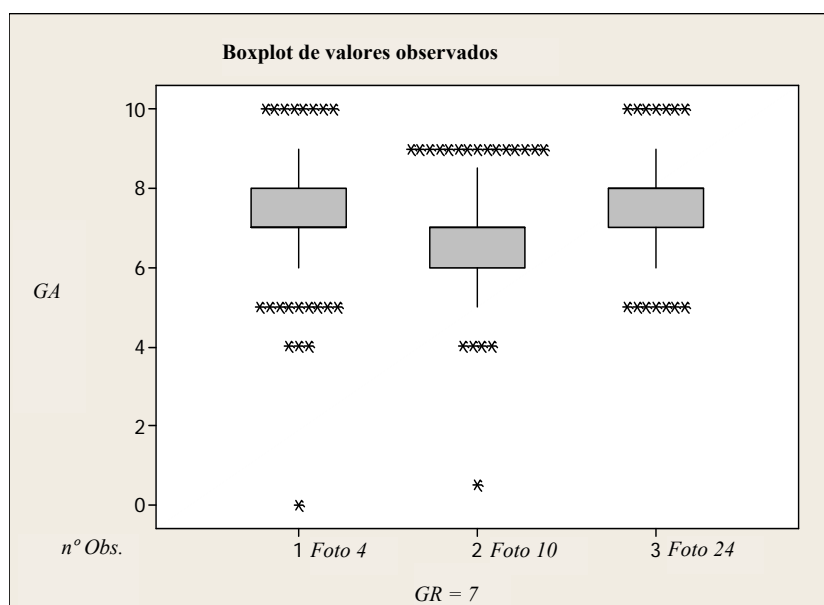


Figura 5.14. Boxplot de respuestas para las fotografías nºs 4, 10 y 24 (GR=7)

El gráfico Boxplot muestra la gran semejanza entre las dispersiones de las fotografías y el rango de estas. Se aprecia que el rango de dispersión es menor que en el caso anterior, para $GR = 3$, pero por contra esta menor dispersión crea muchos valores anómalos para las tres observaciones de grado. El que para $GR = 7$ el grado de dispersión sea menor que para $GR = 3$ puede ser debido en parte a que en el primer caso las 3 fotografías muestran zonas muy concretas y detalladas de elementos constructivos, mientras que en el segundo caso 2 de las fotografías muestran zonas amplias, lo que tal vez dificulte la valoración, introduciendo una mayor variabilidad.

Conjunto de valores observados

En la *Figura 5.15* se observa el Boxplot completo con los valores obtenidos de las encuestas para las 33 fotografías, en el que quedan integrados los 11 Boxplots para cada valor de GR . Las líneas verticales discontinuas de color azul ayudan a interpretar el Boxplot completo, al quedar agrupadas las 3 fotografías u observaciones para cada valor de GR . Los segmentos horizontales discontinuos de color rojo marcan la zona donde deberían

estar situadas las “cajas” del Boxplot, en caso que los valores de G asignados por los técnicos GA coincidieran con los valores de referencia GR .

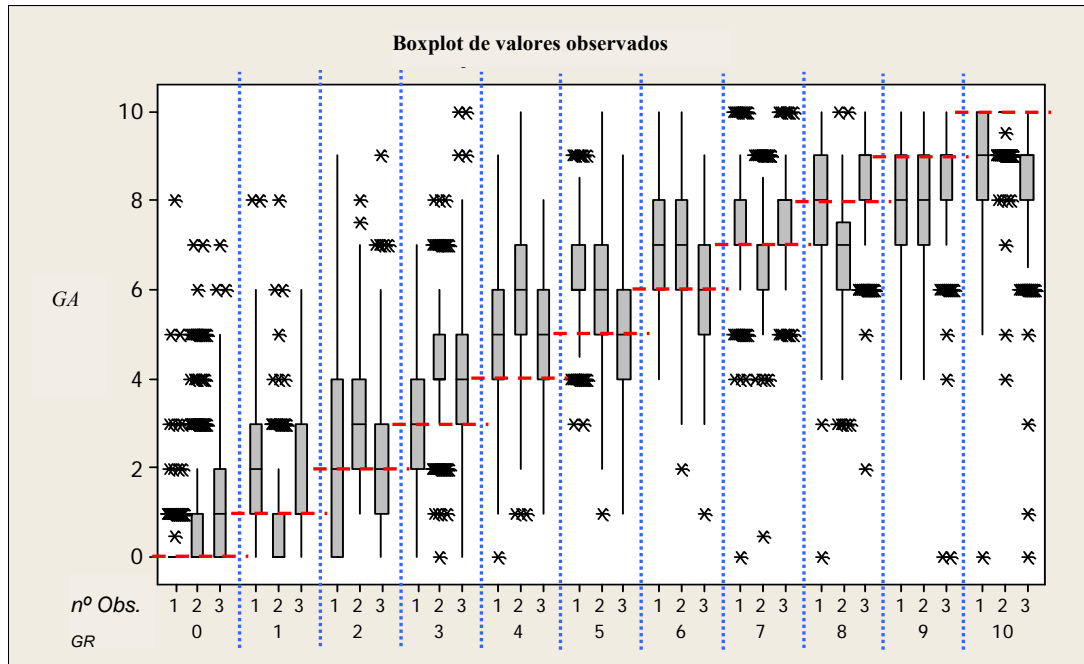


Figura 5.15. Boxplot de todos los valores obtenidos según el n° de observación y el valor GR

Análisis según la titulación de los técnicos participantes

En la *Tabla 5.6* se indica el número de técnicos de cada titulación (en la columna de titulación se utilizan los códigos propuestos en la Sección 5.3). Como se puede apreciar en dicha tabla y en el gráfico asociado, en la muestra de la población han participado en mayor número arquitectos técnicos (50,5%) seguidos de arquitectos (36,9%).

n° técnicos	porcentaje	titulación
138	36,9%	a
189	50,5%	at
10	2,7%	at-a
20	5,3%	at-ie
9	2,4%	ie
4	1,1%	ic
1	0,3%	at-iop
1	0,3%	iop
1	0,3%	iti
1	0,3%	sv



Tabla 5.6. Titulaciones de la muestra de técnicos que han rellenado el cuestionario

Análisis por intervalos de diferencia

El objeto de este apartado es clasificar a los técnicos participantes en función de la diferencia total en valor absoluto (DT) de los valores G que ha asignado cada técnico con respecto a los valores de referencia GR , lo que permite saber qué porcentaje de técnicos ha asignado valores de gravedad similares a los valores de referencia (GR), qué porcentaje ha asignado valores diferentes, etc. Como primer paso para realizar este análisis se utiliza la expresión (5.1) para cada uno de los participantes y respecto a las 33 imágenes:

$$DT = \sum_{j=1}^{33} |Dev_j| = \sum_{j=1}^{33} |G_j - GR_j| \quad (5.1)$$

Como ejemplo se ilustra en la *Tabla 5.7* el caso del técnico ID = 101, donde para cada imagen se muestran los valores GR , G , $Dev = G - GR$, $|Dev| = |G - GR|$, y el valor de la diferencia total, DT , que en este caso resulta $DT = 29$.

FOT.	GR	G	Dev	Dev	FOT.	GR	G	Dev	Dev
1	3	2	-1	1	18	2	2	0	0
2	5	6	+1	1	19	9	9	0	0
3	0	0	0	0	20	5	4	-1	1
4	7	8	+1	1	21	1	1	0	0
5	9	8	-1	1	22	4	2	-2	2
6	1	2	+1	1	23	10	10	0	0
7	3	5	+2	2	24	7	9	+2	2
8	2	4	+2	2	25	0	0	0	0
9	8	8	0	0	26	5	6	+1	1
10	7	7	0	0	27	9	8	-1	1
11	10	10	0	0	28	1	1	0	0
12	6	8	+2	2	29	10	8	-2	2
13	4	6	+2	2	30	8	8	0	0
14	3	3	0	0	31	2	2	0	0
15	6	7	+1	1	32	4	4	0	0
16	8	4	-4	4	33	6	5	-1	1
17	0	1	+1	1					
DIFERENCIA TOTAL (DT):									29

Tabla 5.7. Ejemplo del valor de la diferencia total, DT , para el participante ID: 101

Una vez realizado el cálculo de DT para toda la muestra de técnicos, se clasifican los resultados por intervalos de DT de manera que se visualiza cuántos participantes pertenecen a cada intervalo, lo cual queda reflejado en la *Tabla 5.8* y en la *Figura 5.16*.

INTERVALO	FRECUENCIA	FREC. ACUM.	%	% ACUM.
[0 , 10]	1	1	0.27	0.27
[10.5 , 20]	3	4	0.80	1.07
[20.5 , 30]	76	80	20.32	21.39
[30.5 , 40]	173	253	46.26	67.65
[40.5 , 50]	87	340	23.26	90.91
[50.5 , 60]	16	356	4.28	95.19
[60.5 , 70]	6	362	1.60	96.79
[70.5 , 80]	4	366	1.07	97.86
[80.5 , 90]	1	367	0.27	98.13
[90.5 , 100]	0	367	0.00	98.13
SV	7	374	1.87	100.00

Tabla 5.8. Frecuencia de participantes por intervalos de diferencia (DT)

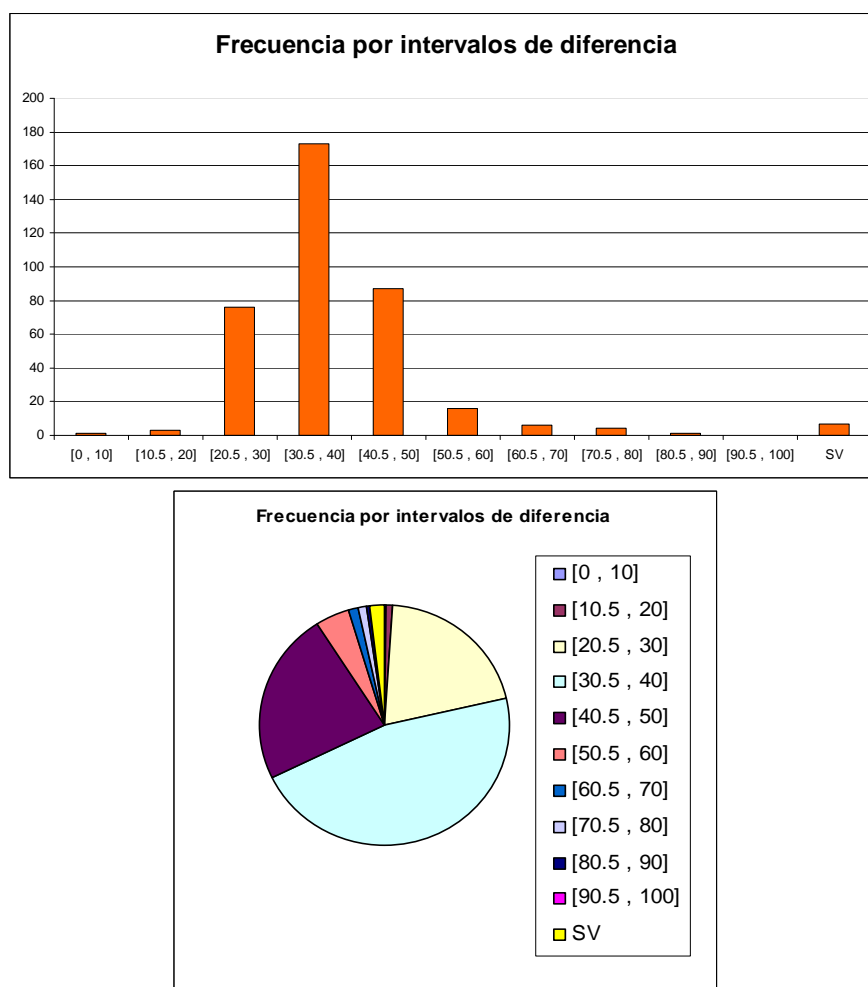


Figura 5.16. Gráficos de frecuencia de participantes por intervalos de diferencia (DT)

Como se puede observar, 253 técnicos (67,65% del total) tienen $DT \leq 40$, es decir que tienen una diferencia promedio respecto GR en cada imagen menor que uno, o en otros términos, como promedio todas sus observaciones están en el intervalo $GR \pm 1$. Teniendo en cuenta que la escala utilizada consta de 11 grados (de 0 a 10), cada grado representa el 9% de la escala. Dado que lo que se trata de valorar con esta escala son atributos difusos (grado de gravedad de elementos constructivos), y que la misma consta de 11 grados, se considera que una diferencia promedio respecto a la GR del 9% o inferior es razonable.

Con objeto de validar esta afirmación, citamos un estudio de las desviaciones resultantes en ensayos de contraste interlaboratorios, en el campo del hormigón. En este tipo de ensayos de contraste se comparan los resultados obtenidos entre diferentes laboratorios, para una misma muestra de hormigón. En el caso estudiado se comparan los resultados de medición de una variable, que es la resistencia a compresión (en N/mm^2) de probetas cilíndricas a n días, en base a un ensayo normalizado cuyo proceso completo incluye *confección+curado+refrentado+rotura* de la probeta. Se considera como resultados fuera de la tolerancia los que tengan desviaciones superiores a $\pm 7,5\%$ (ANEFHOP, 2005).

Cabe decir que una parte significativa de las desviaciones resultantes son superiores a la tolerancia, siendo apreciable el número de desviaciones en torno al -12%, habiendo algún caso de desviación de hasta el -24%, como se aprecia en la *Figura 5.17* y en la *Figura 5.18*. Los resultados obtenidos en el referido ensayo de contraste consolidan la afirmación que en nuestro caso de estudio, donde se valoran atributos difusos en base a una escala de 11 grados, una desviación entorno al $\pm 9\%$ es razonable.

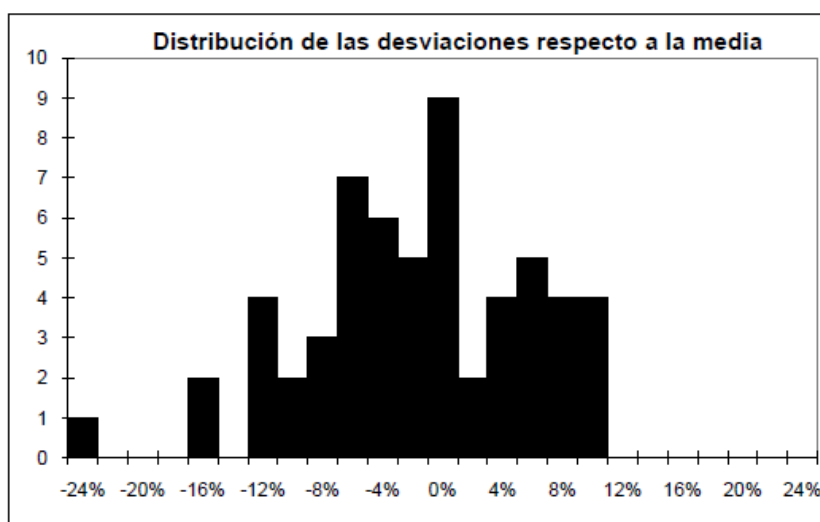


Figura 5.17. Resultado 1 de ensayo de contraste inter-laboratorios (ANEFHOP, 2005)

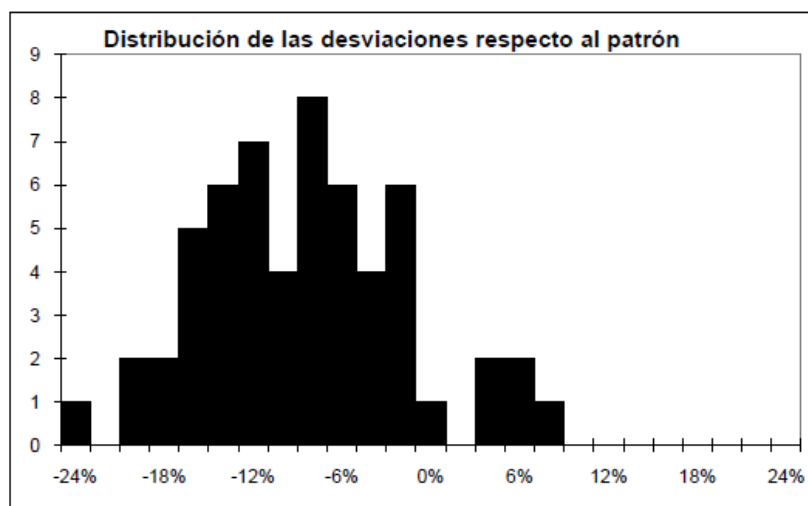


Figura 5.18. Resultado 2 de ensayo de contraste inter-laboratorios (ANEFHOP, 2005)

5.3. FASE 2: DEPURACIÓN DE LOS DATOS Y ANÁLISIS

5.3.1. Depuración de los datos

Como se ha visto en anteriores apartados, en el presente estudio se han recogido gran cantidad de datos (12.342 valores de G asignados por una muestra de 374 técnicos). Con objeto de que el análisis estadístico de los datos recogidos sea consistente, se deben eliminar aquellos datos que pueden distorsionar el análisis. Este apartado explica qué criterios se han seguido para depurar la muestra de los datos obtenidos y así obtener una muestra completa de datos capaz de responder y tener en cuenta el objetivo de este estudio. Se han realizado las siguientes depuraciones:

- Según la titulación
- Por no tener algún valor de G
- Por ser anómalos

Depuración de los datos según la titulación

Como se ha visto anteriormente se ha hecho un análisis inicial de la titulación de los participantes (ver *Tabla 5.6*). Según dicha tabla las titulaciones con mayor número de técnicos que han rellenado el cuestionario son las siguientes:

- Arquitectos Técnicos (o Ingenieros de Edificación o Aparejadores)
- Arquitectos
- Arquitectos Técnicos que son también Arquitectos

Se considera que participantes que han estudiado Arquitectura Técnica y/o Ingeniería en Edificación se pueden unir en un mismo grupo, pues en la práctica es la misma profesión que ha cambiado a otra denominación. Así, se han unido en un mismo

grupo a los 189 participantes Arquitectos Técnicos, a los 20 participantes Arquitectos Técnicos e Ingenieros de Edificación, y a los 9 participantes Ingenieros de Edificación. También se ha puesto en este grupo al único participante Arquitecto Técnico e Ingeniero de Obras Públicas (dando prioridad a la titulación de Arquitectura Técnica).

También se entiende que aquellas titulaciones con pocos participantes no son muestra para poder hacer un estudio estadístico con un mínimo de consistencia en base a sus titulaciones, porque se generalizaría con muy pocos valores, por tanto se toma la decisión de eliminar de la muestra a los 4 Ingenieros de Caminos, al único Ingeniero de Obras Públicas, al único Ingeniero Técnico Industrial, y al participante que no ha puesto ninguna titulación. Así, después de haber realizado esta primera depuración, la resultante de técnicos participantes es de 367 presentándose su desglose por titulaciones en la *Tabla 5.9*.

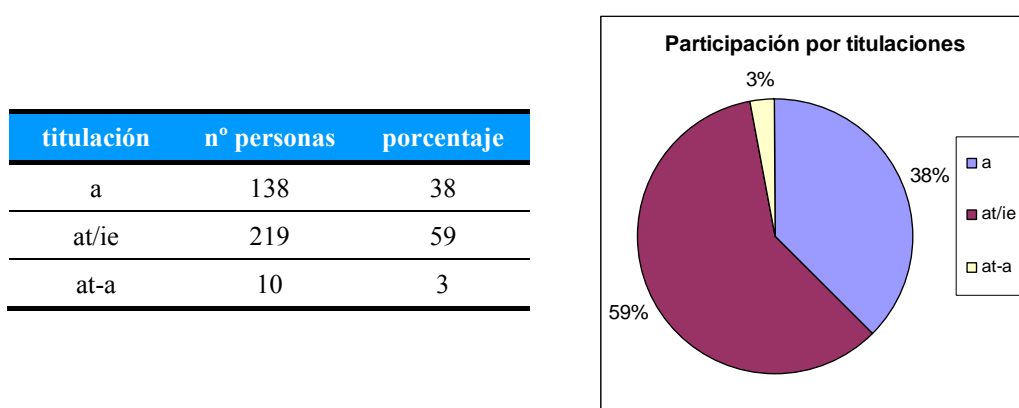


Tabla 5.9. Muestra por titulaciones después de la 1ª depuración

Depuración de los datos por no tener algún valor de *G*

Los datos indican que hay muy pocos casos en que algún valor de *G* no se ha respondido, bien por no saber el valor o por olvido (conclusión a la que no se va a llegar, ya que se tendría que preguntar a los encuestados en concreto y no es objetivo de este estudio realizar un estudio de los valores “missing”, entre otras razones por el extremadamente bajo número de los mismos).

Los participantes del cuestionario con valores “missing”, es decir, con casillas sin valor, son los que se reflejan en la *Tabla 5.10*, donde Nº SV indica el número de casillas donde el técnico no ha puesto ningún valor.

Por lo tanto el número de técnicos sin algún valor asignado es de 9, que representa un 2,54% de la muestra total de 367 técnicos, con lo que se considera adecuado eliminar estos 9 casos en concreto y así poder trabajar con una muestra completa. A partir de ahora, la muestra constará de 358 participantes, con las titulaciones que se presentan en la *Tabla 5.11*.

ID	TIT	Nº SV	LOCALIZACIÓN DEL SV
803	at/ie	1	en el tiempo empleado
1027	at/ie	6	en valores de G
1218	a	1	en valores de G
1231	a	1	en valores de G
1626	at/ie	2	en valores de G
1705	at-a	1	en valores de G
1914	at/ie	1	en el tiempo empleado
2005	a	1	en valores de G
2102	at/ie	1	en valores de G

Tabla 5.10. Participantes con alguna casilla sin valor

titulación	nº personas	porcentaje
a	135	38
at/ie	214	59
at-a	9	3

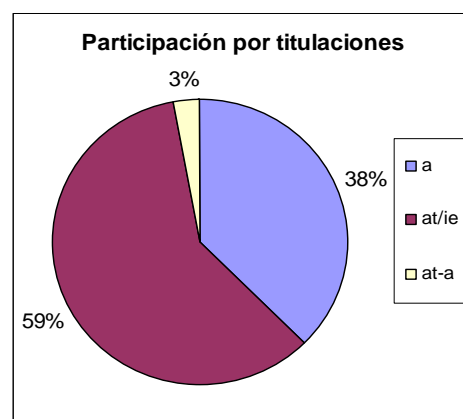


Tabla 5.11. Muestra por titulaciones después de la 2ª depuración.

Depuración de los datos por ser anómalos

Como se ha visto anteriormente en la *Figura 5.15* se puede representar, en un gráfico Boxplot, todos los valores obtenidos de los cuestionarios realizados por los técnicos clasificados según las variables de valor de G y número de observación (n° Obs.). Así, en este diagrama de caja, se pueden identificar todos los casos anómalos de los valores obtenidos, bien porque el técnico al rellenar el cuestionario se ha equivocado o porque no ha entendido la imagen como correspondería. Del total de 11.814 valores de la muestra un 3,09% (365 valores) son anómalos. En la *Tabla 5.12* se cuantifican los valores anómalos según el valor de G y el número de observación al que pertenece.

Así se puede observar que para $GR = 0$ y para $GR = 10$, valores de G extremos, es donde más valores anómalos hay, por ser los valores donde menor dispersión hay. Una vez analizados y contabilizados los 365 valores anómalos de la muestra total de 11.814 valores, se procede a la depuración resultando el Boxplot de la *Figura 5.19*.

GR	Nº Obs.	Nº Fotog.	Nº Anómalos	% anómalos para cada GR	% anómalos sobre el total	% anómalos por cada GR sobre el total
0	1	3	47	49,5	12,9	26,0
	2	17	45	47,4	12,3	
	3	25	3	3,2	0,8	
1	1	6	2	8,7	0,5	6,3
	2	21	21	91,3	5,7	
	3	28	0	0,0	0,0	
2	1	8	0	0,0	0,0	2,2
	2	18	2	25,0	0,5	
	3	31	6	75,0	1,6	
3	1	1	0	0,0	0,0	11,5
	2	7	38	90,5	10,4	
	3	14	4	9,5	1,1	
4	1	13	1	25,0	0,3	1,1
	2	22	3	75,0	0,8	
	3	32	0	0,0	0,0	
5	1	2	21	95,5	5,7	6,3
	2	20	1	4,5	0,3	
	3	26	0	0,0	0,0	
6	1	12	0	0,0	0,0	0,5
	2	15	1	50,0	2,7	
	3	33	1	50,0	2,7	
7	1	4	21	38,2	5,7	15,1
	2	10	20	36,4	5,5	
	3	24	14	25,4	3,8	
8	1	9	2	6,4	0,5	8,5
	2	16	7	22,6	1,9	
	3	30	22	71,0	6,0	
9	1	5	0	0,0	0,0	3,6
	2	19	0	0,0	0,0	
	3	27	13	1,0	3,6	
10	1	11	1	1,4	0,3	19,2
	2	23	47	67,1	12,9	
	3	29	22	31,4	6,0	

Tabla 5.12. Valores anómalos según el valor de GR y el número de observación

En la *Figura 5.19*, al igual que se ha hecho en la *Figura 5.15*, las líneas verticales discontinuas de color azul ayudan a interpretar el Boxplot completo, al quedar agrupadas las 3 fotografías u observaciones para cada valor de *GR*. Los segmentos horizontales discontinuos de color rojo marcan la zona donde deberían estar situadas las “cajas” del Boxplot, en caso que los valores de *G* asignados por los técnicos coincidieran con los valores *GR* objetivo.

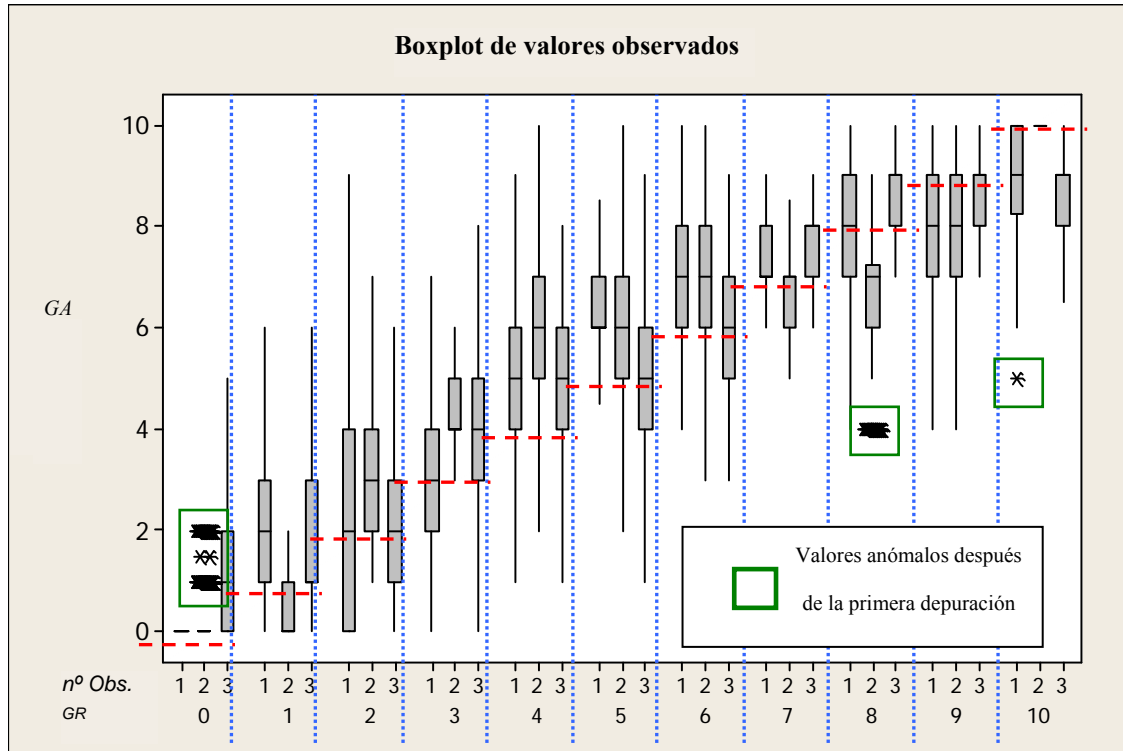


Figura 5.19. Boxplot después de la primera depuración de los valores anómalos

Haciendo la primera depuración de los valores anómalos, la muestra queda reducida a 11.449 valores, de los cuales 91 son ahora valores anómalos, lo que representa el 0,79% del total, por lo que se decide, al ser menos del 1%, no seguir depurando y dar por definitivos los datos representados en la *Figura 5.19*. También hay que tener en cuenta que si se eliminaran estos 91 valores anómalos se estaría influyendo mucho en las respuestas para $GR = 0$, eliminando la poca dispersión que estas representan, como es el caso de la observación 2 para $GR = 0$.

La conclusión a este apartado es que la muestra resultante es de 11.449 valores, la cual proviene de la eliminación de 365 valores anómalos de la muestra inicial de 11.814 valores.

5.3.2. Descriptiva final

Una vez realizada la depuración de la muestra, en este apartado se realiza el análisis estadístico de la muestra resultante. En la *Figura 5.20* se ilustra, a modo de ejemplo, una pequeña parte de la tabla en Minitab resultante con la muestra depurada. En dicha tabla se agrupan las 3 asignaciones que ha dado cada técnico (valorObs., en la columna C9) para

cada valor GR de referencia (columna C7), apareciendo la diferencia entre estos dos valores en la columna C10 (Dev). Las líneas azules discontinuas separan las 3 observaciones de cada técnico para cada valor GR de referencia: técnico ID = 101 para $GR = 0$, técnico ID = 102 para $GR = 0$, etc.

	C1	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	id	titulació	exp-cons	exp-pat	formació	temps	GR	nºObs.	valorObs.	Dev
	101	a	2.5	0.0	1	90.0	0	1	0.0	0.0
	101	a	2.5	0.0	1	90.0	0	2	1.0	1.0
	101	a	2.5	0.0	1	90.0	0	3	0.0	0.0
	102	at-a	7.0	0.0	1	15.0	0	1	0.0	0.0
	102	at-a	7.0	0.0	1	15.0	0	2	0.0	0.0
	102	at-a	7.0	0.0	1	15.0	0	3	1.0	1.0
	103	at/ee	5.0	1.0	1	35.0	0	2	1.0	1.0
	103	at/ee	5.0	1.0	1	35.0	0	3	0.0	0.0

Figura 5.20. Tabla parcial en Minitab de la muestra de datos depurada

En la *Tabla 5.13* se hace la descripción estadística para cada uno de los valores de GR individualmente y separando la muestra por cada una de las tres diferentes observaciones realizadas. Para acabar con el análisis de la desviación se muestra en la última fila de la tabla una estadística descriptiva del total de los valores de la muestra obtenidos.

Con objeto de facilitar el análisis de los datos obtenidos en la *Tabla 5.13*, en la *Figura 5.21* se presenta el histograma de frecuencias de las desviaciones para cada uno de los valores de GR . En la *Figura 5.22* se han eliminado los valores no enteros, es decir, aquellos casos en que los técnicos han puesto dos valores de G a una misma imagen. Así los gráficos de barras son más representativos visualmente para la comprensión de la desviación de cada valor de G . Del total de 11.449 valores hay 135 valores no enteros, lo que supone un 1,18% del total. Como se observa en los gráficos de la *Figura 5.21*, las desviaciones siguen un patrón gaussiano o Normal, excepto para $GR = 0$ y $GR = 10$, por su carácter extremo. En esta línea se muestra que para $GR = 0, 1, 2, 3, 4, 5$ y 6 hay una sobreestimación del valor de gravedad, mientras que para $GR = 8, 9$ y 10 hay una infraestimación de la misma.

En el extremo $GR = 0$ es normal que las desviaciones sean positivas, ya que por su condición de extremo en el lado izquierdo no puede haber desviaciones negativas. Análogamente es normal que en el extremo $GR = 10$ las desviaciones sean negativas, ya que por su condición de extremo en el lado derecho no puede haber desviaciones positivas. De la misma manera, para valores de GR cercanos a los extremos se da un efecto similar, produciéndose para estos valores cierta asimetría de las campanas de Gauss. Así, para $GR = 1$ y 2 es normal que haya cierta asimetría hacia la derecha, con más frecuencia de desviaciones positivas, mientras que para $GR = 8$ y 9 es normal que haya cierta asimetría hacia la izquierda, con más frecuencia de desviaciones negativas. Que en valores de GR intermedios haya más frecuencia de desviaciones positivas muestra que los técnicos tendían a valorar las imágenes de elementos constructivos de forma conservadora, asignando así valores de G algo superiores a GR .

GR	n°Obs.	N	Dev						
			Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
0	1	311	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2	313	0,29	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
	3	355	1,15	1,08	0,00	0,00	1,00	2,00	5,00
1	1	356	0,94	1,47	-1,00	0,00	1,00	2,00	5,00
	2	337	-0,70	0,55	-1,00	-1,00	-1,00	0,00	1,00
	3	358	0,72	1,15	-1,00	0,00	0,00	2,00	5,00
2	1	358	0,40	2,22	-2,00	-2,00	0,00	2,00	7,00
	2	356	1,22	1,37	-1,00	0,00	1,00	2,00	5,00
	3	352	0,47	1,35	-2,00	-1,00	0,00	1,00	4,00
3	1	358	-0,38	1,19	-3,00	-1,00	0,00	1,00	4,00
	2	320	1,46	0,96	0,00	1,00	1,00	2,00	3,00
	3	354	0,88	1,61	-3,00	0,00	1,00	2,00	5,00
4	1	357	0,68	1,33	-3,00	0,00	1,00	2,00	5,00
	2	355	1,80	1,47	-2,00	1,00	2,00	3,00	6,00
	3	358	0,60	1,33	-3,00	0,00	1,00	2,00	4,00
5	1	357	1,44	0,87	-0,50	1,00	1,00	2,00	3,50
	2	357	0,77	1,51	-3,00	0,00	1,00	2,00	5,00
	3	358	0,00	1,38	-4,00	-1,00	0,00	1,00	4,00
6	1	358	1,17	1,27	-2,00	0,00	1,00	2,00	4,00
	2	357	1,02	1,21	-3,00	0,00	1,00	2,00	4,00
	3	357	0,19	1,23	-3,00	-1,00	0,00	1,00	3,00
7	1	337	0,45	0,94	-1,00	0,00	0,00	1,00	2,00
	2	338	-0,25	0,90	-2,00	-1,00	0,00	0,00	1,50
	3	344	0,72	0,89	-1,00	0,00	1,00	1,00	2,00
8	1	356	-0,16	1,20	-4,00	-1,00	0,00	1,00	2,00
	2	350	-1,42	1,30	-4,00	-2,00	-1,00	-1,00	1,00
	3	336	0,61	0,90	-1,00	0,00	1,00	1,00	2,00
9	1	358	-1,04	1,04	-5,00	-2,00	-1,00	0,00	1,00
	2	358	-1,17	1,15	-5,00	-2,00	-1,00	0,00	1,00
	3	345	-0,33	0,86	-2,00	-1,00	0,00	0,00	1,00
10	1	357	-0,90	0,95	-5,00	-1,75	-1,00	0,00	0,00
	2	311	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	336	-1,44	0,94	-3,50	-2,00	-1,00	-1,00	0,00
TOTAL		11.449	0,28	1,45	-5,00	-1,00	0,00	1,00	7,00

(N : tamaño muestral; Mean : media; StDev : desviación estándar; Minimum : mínimo de la variable Dev; Q1 : primer cuartil (percentil del 25%); Median : mediana (percentil del 50%); Q3 : tercer cuartil (percentil del 75%); Maximum : máximo de la variable desviación)

Tabla 5.13. Descriptiva de la variable desviación (Dev) de cada una de las 3 observaciones, para cada valor de GR

Por otro lado, respecto a la esbeltez de las campanas de Gauss, estas son más esbeltas para los valores de GR extremos, lo que indica que hay una mayor concentración de valores asignados, lo que es debido por un lado a que al ser extremos hay menor rango de valores entre los que escoger, y por otro lado que los técnicos perciben con más claridad y precisión el grado de gravedad en los valores extremos. En cambio, las campanas de Gauss presentan una mayor desviación en valores intermedios de GR , particularmente en $GR = 2, 3, 4, 5$ y 6 , por tratarse de definiciones más difusas del grado de gravedad.

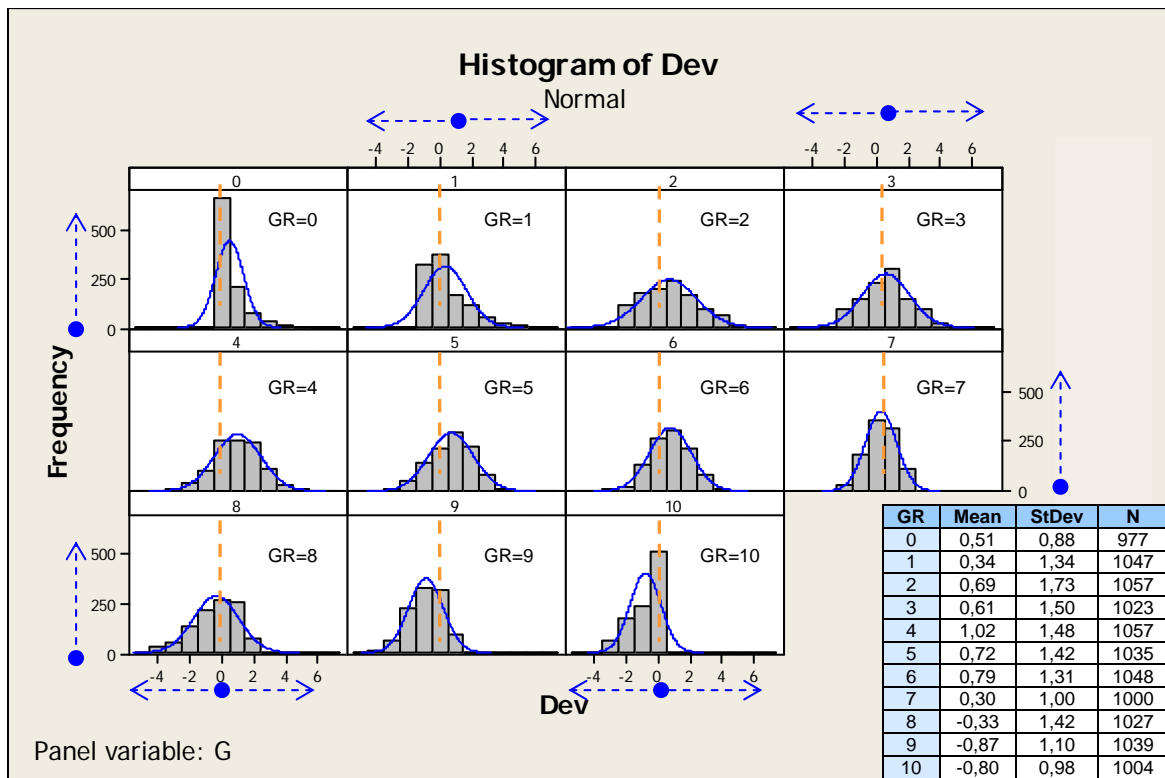


Figura 5.21. Histograma de frecuencias de las desviaciones (Dev) para cada uno de los valores de G

Seguidamente se realiza una estadística descriptiva de la desviación para cada uno de los valores de GR , en conjunto e individualmente según cada una de las tres observaciones realizadas para cada valor de G , donde se pueden observar elementos estadísticos como la muestra, la media, la desviación estándar, el valor mínimo, el primer cuartil, la mediana, el tercer cuartil y el valor máximo.

Para poder realizar los cálculos siguientes se han modificado las tablas utilizadas hasta ahora en Minitab, para crear una nueva tabla, y así tener en cuenta la desviación de G de cada técnico (promedio de las tres observaciones) para cada valor de GR en vez de la desviación por cada observación del técnico. Este rediseño de las tablas utilizadas en los cálculos queda visualizado en la Figura 5.22.

+	C1	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
	id	titulació	exp-cons	exp-pat	formació	temps	GR	nºObs.	valorObs.	Dev
1	101	a	2.5	0.0	1	90.0	0	1	0.0	0.0
2	101	a	2.5	0.0	1	90.0	0	2	1.0	1.0
3	101	a	2.5	0.0	1	90.0	0	3	0.0	0.0
4	102	at-a	7.0	0.0	1	15.0	0	1	0.0	0.0
5	102	at-a	7.0	0.0	1	15.0	0	2	0.0	0.0
6	102	at-a	7.0	0.0	1	15.0	0	3	1.0	1.0
7	103	at/ee	5.0	1.0	1	35.0	0	2	1.0	1.0
8	103	at/ee	5.0	1.0	1	35.0	0	3	0.0	0.0

C1	C2-T	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12
id	titulació	exp-cons	exp-pat	formació	temps	GR	O1	O2	O3	Mean Id	Dev Id
101	a	2.5	0.0	1	90.0	0	0.0	1.0	0.0	0.3333	0.3333
102	at-a	7.0	0.0	1	15.0	0	0.0	0.0	1.0	0.3333	0.3333
103	at/ee	5.0	1.0	1	35.0	0	*	1.0	0.0	0.5000	0.5000

Figura 5.22. Rediseño de las tablas para nuevos cálculos ($Dev = valorObs. - GR$; $DevId = MeanId - GR$, siendo $MeanId$ la media de las 3 observaciones de cada individuo para cada GR)

En la *Tabla 5.14* se aprecian los valores estadísticos (media, estándar desviación, mínimo,...) de la variable $DevId$ para cada uno de los valores de GR con la muestra total de técnicos participantes.

GR	N	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
0	356	0,58	0,68	0,00	0,00	0,33	0,67	5,00
1	358	0,36	0,84	-1,00	-0,33	0,33	0,67	4,00
2	358	0,70	1,19	-2,00	0,00	0,67	1,33	4,33
3	358	0,60	0,96	-2,50	0,00	0,67	1,33	3,50
4	358	1,01	1,02	-2,50	0,33	1,00	1,67	3,67
5	358	0,71	0,94	-3,5	0,00	0,67	1,33	3,00
6	358	0,79	0,89	-2,33	0,33	0,67	1,33	3,33
7	358	0,32	0,70	-2,00	0,22	0,33	0,75	2,00
8	358	-0,35	0,85	-3,00	-1,00	-0,33	0,33	2,00
9	358	-0,88	0,78	-3,00	-1,33	-0,92	-0,33	1,00
10	358	-0,84	0,63	-3,00	-1,33	-0,67	-0,33	0,00

Tabla 5.14. Estadística descriptiva de la $DevId$ para cada valor de GR

En la *Figura 5.23* se ilustra para cada valor de GR la desviación entre dicho valor y las respuestas dadas por los técnicos (para las 3 imágenes correspondientes a cada valor de GR). El objeto de esta figura es visualizar la percepción media que tiene cada individuo para cada valor de gravedad.

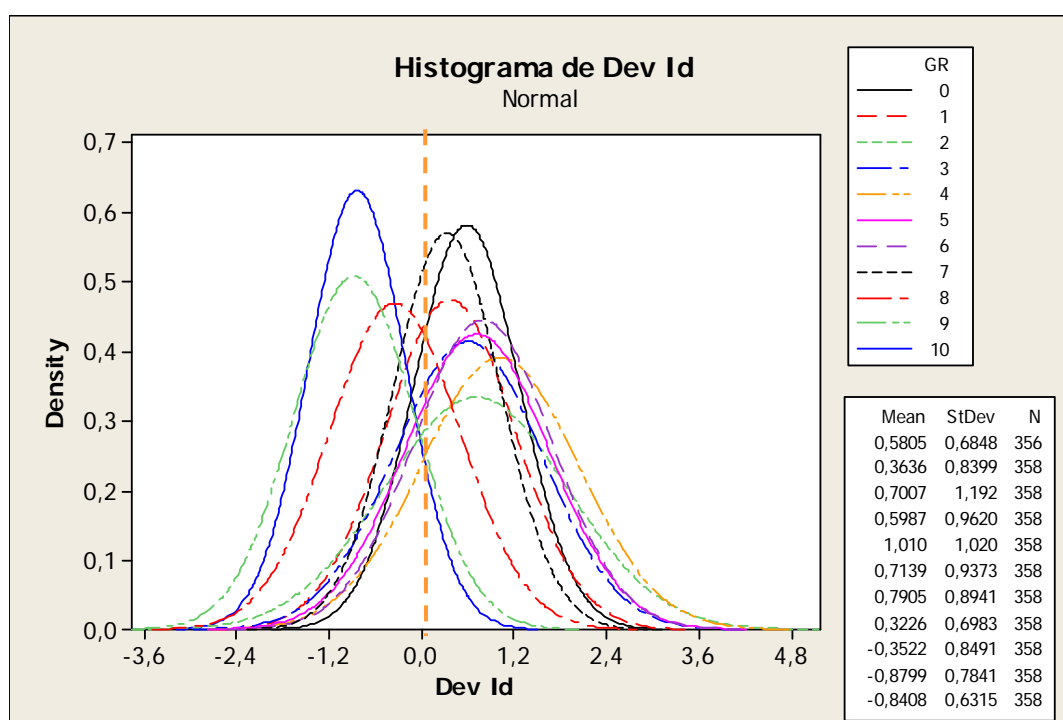


Figura 5.23. Densidades estimadas de la variable *DevId* según el valor de *GR*

Se puede apreciar que las curvas tienen forma de campana de Gauss, con la característica que los valores de *G* con mayor desviación son aquellos que tienen mayor amplitud de campana, como es el caso para $GR = 2$, y los valores de *G* con menor desviación, es decir, con más respuestas ciertas o cerca de la objetivo, tienen menor amplitud de campana, como es el caso para $GR = 0$ o $GR = 10$.

5.3.3. Análisis de la capacidad discriminante de la escala

El objeto de este apartado es determinar la capacidad discriminante que tiene la escala propuesta. Se trata de estudiar la probabilidad de asignación de gravedad por parte de los técnicos igual al valor de referencia *GR*, ajustando por las variables recogidas en el cuestionario. Se pretende determinar si variables como titulación, formación en patología, experiencia en construcción, experiencia en patología y el tiempo empleado en la realización del cuestionario influyen significativamente en la asignación igual al valor de referencia *GR*. El método estadístico utilizado será el de Regresión Logística Binaria.

Introducción metodológica

La regresión logística es un modelo de regresión para variables dependientes o de respuesta que siguen distribuciones binomiales (Vittinghoff, et al., 2004; Balakrishnan, 1991). En particular, es útil para modelar la probabilidad de un evento condicionado o ajustado en función de otros factores, como es el caso del objetivo propuesto. El modelo de regresión logística (Hosmer y Lemeshow, 2000) es un caso particular del modelo lineal general

$$g(Y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i \quad (5.2)$$

donde la función g , conocida como función de enlace, permite linealizar la respuesta, Y , en base a los predictores (continuos o discretos) X_i , $i = 1, \dots, k$. Concretamente la función de enlace utilizada es la función logit, definida por

$$\text{logit}(x) = \log\left(\frac{x}{1-x}\right) \quad (5.3)$$

que permite modelizar la razón (denominada *Odd* en inglés) entre una medida x (que será la probabilidad de asignación correcta) y su complemento a 1. La *Odd* indica cuánto más probable es la ocurrencia del evento que su no ocurrencia, y se calcula a través del cociente entre la probabilidad de que ocurra el evento y la probabilidad de que no ocurra.

Para determinar si el técnico asigna el valor de G de forma correcta, se construye una nueva variable que denominamos “ok”, definida por la siguiente expresión:

$$\text{ok} = \begin{cases} 1 & \text{si } |\text{DevId}| < 0,5 \\ 0 & \text{si } |\text{DevId}| \geq 0,5 \end{cases} \quad (5.4)$$

donde DevId es la desviación del valor medio de G asignado por el técnico respecto al valor objetivo GR , definido en el apartado anterior. En otras palabras, ok toma el valor 1 si el redondeo del valor medio de respuestas asignadas por el técnico a esa gravedad coincide con el valor de referencia GR , y 0 en caso contrario.

La variable ok es, por construcción, una variable binaria que recoge la capacidad discriminante de la escala para cada uno de los técnicos y cada una de las gravedades. En términos de esta variable el objetivo de este apartado es modelizar $P(\text{ok} = 1)$ para cada gravedad y en función de las características de los técnicos, mediante el modelo de regresión logística. Una vez estimado el modelo se obtiene

$$\text{logit}(P(\text{ok} = 1)) = \log\left(\frac{P(\text{ok} = 1)}{1 - P(\text{ok} = 1)}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (5.5)$$

y en consecuencia

$$\text{odd} = \frac{P(\text{ok} = 1)}{P(\text{ok} = 0)} = \frac{P(\text{ok} = 1)}{1 - P(\text{ok} = 1)} = e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k} \quad (5.6)$$

de donde se deduce

$$P(\text{ok} = 1) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k}} \quad (5.7)$$

Análisis para el caso $GR = 0$

A modo de ejemplo se explican a continuación con detalle los cálculos y resultados para $GR = 0$. Inicialmente, sin tener en cuenta ninguna variable predictora, se puede estimar la probabilidad de clasificación correcta (“ok” = 1) y de fallo (“ok” = 0). Del total de 356 observaciones dadas, en 217 la clasificación es correcta y en 139 la clasificación es incorrecta. En consecuencia

$$P(ok = 1) = \frac{217}{356} = 0,6096 \Rightarrow 60,96\% \text{ y } P(ok = 0) = \frac{139}{356} = 0,3904 \Rightarrow 39,04\%$$

hay por tanto una probabilidad de clasificación correcta para $GR = 0$ del 60,96%.

Ahora bien, si se tiene en cuenta la variable Titulación como predictor, cuando se aplica el Modelo Logit (Regresión logística binaria), se obtiene la *Tabla 5.15*, que muestra los valores estimados de los coeficientes β_i (Coef), sus errores estándar (SE Coef), los estadísticos de contraste y su p-valor²³ asociado (Z, p-value), la razón entre las respectivas Odds (Odds Ratio = exp(Coef)), así como sus respectivos intervalos de confianza al 95%.

Predictor	Coef	SE Coef	Z	p-value	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-0,1495	0,1732	-0,86	0,388	-	-	-
Titulación							
at-a	0,3727	0,6928	0,54	0,591	1,45	0,37	5,64
at/ie	1,0170	0,2293	4,44	0,000	2,76	1,76	4,33

Tabla 5.15. Regresión Logística Binaria de “ok vs titulación” donde el grupo de referencia es arquitecto (a)

El estadístico de contraste Z , calculado como $\frac{\text{Coef}}{\text{SE Coef}}$, sigue una distribución normal de media 0 y desviación estándar 1, y su p-valor (probabilidad de ambas colas en la distribución normal), permiten decidir sobre la contribución estadísticamente significativa, o no, de cada uno de los predictores. En este caso se observa que el grupo “at/ie” presenta un coeficiente estimado positivo (1,017) y un p-value casi nulo (0,000), lo que significa que este grupo tiene, de forma estadísticamente significativa, una mayor probabilidad de clasificación correcta en este valor de GR frente al grupo de referencia (el grupo “a”).

Concretamente los resultados obtenidos según las expresiones (5.5) y (5.7) son los siguientes, para cada uno de los grupos de titulación:

²³ En contrastes de hipótesis, en Estadística, el p-valor (a veces conocido simplemente como *la p*, *valor p*, o bien directamente en inglés *p-value*) está definido como la probabilidad de obtener un estadístico al menos tan extremo como el que se ha obtenido en la muestra, bajo la hipótesis nula (en nuestro caso $\beta_i = 0$, para $i = 1, \dots, k$), (Schervish, 1996).

$$P(ok|a) = \frac{e^{-0,1495}}{1 + e^{-0,1495}} = 0,4627 \Rightarrow 46,27\%$$

$$P(ok|a-at) = \frac{e^{-0,1495+0,3727}}{1 + e^{-0,1495+0,3727}} = 0,5556 \Rightarrow 55,57\%$$

$$P(ok|at/ie) = \frac{e^{-0,1495+1,0170}}{1 + e^{-0,1495+1,0170}} = 0,7042 \Rightarrow 70,42\%$$

Estos cálculos indican que el grupo “a” (Arquitectos) tiene una probabilidad de clasificación correcta del 46,27%, el grupo “a-at” (Arquitectos que también son Arquitectos Técnicos) del 55,57% y el grupo “at/ie” (Arquitectos Técnicos o Ingenieros de Edificación) del 70,42%.

En cuanto a la diferencia entre grupos y en consonancia con los p-value de la *Tabla 5.15* no existen diferencias significativas entre los grupos “a” y “a-at”, mientras sí las hay entre los grupos “a” y “at/ie”.

Respecto a la Odds Ratio entre los grupos “a” y “at/ie” se aplica la expresión (5.6) obteniendo

$$\text{Odds Ratio} = \frac{\frac{P(ok|at/ie)}{1 - P(ok|at/ie)}}{\frac{P(ok|a)}{1 - P(ok|a)}} = \frac{\frac{0,7042}{0,2958}}{\frac{0,4627}{0,5373}} = 2,76 = e^{1,01703}$$

lo que significa que el grupo de técnicos “at/ie”, respecto al grupo “a”, tiene una propensión a la clasificación correcta, en $GR = 0$, aproximadamente 3 veces superior (95% IC : (1,76 ; 4,33)).

Análisis para los casos $GR = 1$ a $GR = 10$

De manera análoga, y sólo considerando la variable Titulación como predictora, se reproduce la metodología de cálculo anterior para los valores de GR de 1 a 10. Los cálculos se adjuntan en el Anexo III, y en la *Tabla 5.16* se muestran los resultados obtenidos (en %). Como puede apreciarse, las celdas que no contienen ningún valor indican que la variable titulación no es estadísticamente significativa, es decir, que la probabilidad de asignar un valor de G igual al valor de referencia GR ($P(ok = 1)$) no depende de la titulación del técnico.

GR	P(ok=1)	P(ok/a)	P(ok/at-a)	P(ok/at-ie)
0	60,96	46,27	55,57	70,42
1	51,68	42,69	44,44	57,48
2	33,24	25,93	55,56	36,92
3	33,24	-	-	-
4	18,44	11,11	†	23,83
5	31,84	-	-	-
6	31,01	-	-	-
7	44,13	-	-	-
8	41,06	-	-	-
9	30,45	-	-	-
10	33,52	-	-	-

Tabla 5.16. Probabilidad de asignación correcta por titulaciones y por valores de GR.
(†: parámetro inestimable debido a la varianza nula de los datos muestrales)

Análisis para el conjunto de predictores y conclusión

Cuando se extiende la metodología a los otros parámetros para estudiar su significación respecto de la probabilidad de asignación correcta de la gravedad, se obtienen los p-valores de la *Tabla 5.17*, en la que sólo se reportan p-valores < 0,05, es decir, aquellos que son significativos con un nivel de confianza del 95%.

GR	Titulación	Formación patología	Experiencia construcción	Experiencia patología	Tiempo test
0	at/ie 0,000	-	-	-	0,006
1	at/ie 0,008	-	-	0,015	-
2	at/ie 0,034	-	-	-	-
3	-	-	-	-	0,018
4	at/ie 0,004	-	-	-	-
5 a 10	-	-	-	-	-

Tabla 5.17. p-valores de Regresión Logística Binaria para cada valor de GR para cada uno de los predictores (el guión indica un p-valor $\geq 0,05$)

A modo de conclusión queda demostrado que el único parámetro significativo es la Titulación, y sólo para valores bajos de GR, lo que prueba la robustez de la escala propuesta. El parámetro Experiencia en Patología sólo es significativo para GR =1 y puede apreciarse una ligera relación inversa, para gravedades de referencia bajas, entre el tiempo invertido en la realización del cuestionario y la precisión de la respuesta (ver Anexo III).

5.4. FASE 3: MEJORA DE LA ESCALA Y PROPUESTA DE NUEVA ESCALA

5.4.1. Propuesta de mejora de la escala

Como se ha visto en la *Tabla 5.16*, la probabilidad de asignación correcta de valores de GR en general no es muy elevada, siendo en algunos casos bastante baja (el caso de valor más bajo es para $GR = 4$, con una probabilidad de clasificación correcta global del 18,44%). Se considera que el hecho de que la referida probabilidad no sea muy elevada es razonable, dado que lo que se trata de valorar son atributos difusos (grado de gravedad de elementos constructivos), y que la escala consta de 11 grados (desde $GR = 0$ a $GR = 10$).

Por lo tanto, el hecho de que la probabilidad de asignación correcta de valores de GR sea moderada o baja, permite abordar el proponer una mejora de la escala con objeto de aumentar la probabilidad de asignación correcta de valores de GR . Así, el objetivo de esta sección es evaluar la fiabilidad de la escala propuesta, la cual se nombrará como Escala General, y proponer una mejora de la escala para aumentar la fiabilidad resultante.

El proceso a seguir para conseguir la finalidad de este apartado, se resume en el diagrama de flujo de la *Figura 5.24*, donde a través de un algoritmo de clustering²⁴ se va reduciendo progresivamente el número de grados de la escala, hasta obtener una nueva escala con una probabilidad de asignación correcta de grados de gravedad que sea aceptable.

A continuación se explica, paso a paso, el proceso a seguir para conseguir una primera mejora de la fiabilidad de la escala. Las posteriores mejoras a realizar de la escala se consiguen utilizando el mismo proceso, de forma repetitiva. Los apartados que explican la metodología seguida son los siguientes:

- Creación de la tabla
- Evaluación de la fiabilidad de la escala inicial
- Evaluación de la especificidad y potencia de la escala inicial
- Gráfica de especificidad y potencia
- Evaluación de vecindades
- Resumen de todo el proceso para aumentar la fiabilidad de la escala
- Propuesta de nueva escala

Creación de la tabla

Definamos por C la matriz de dimensión 11x11 donde la posición c_{ij} , para $i, j = 0, \dots, 10$, es el cardinal, dentro de las imágenes con $GR = i$, de asignaciones $G = j$ por parte de los técnicos. Para simplificar la notación denotaremos GR_i y G_j respectivamente. En otros términos,

²⁴ Un algoritmo de clustering (algoritmo de agrupamiento en castellano) es un procedimiento de agrupación de una serie de vectores de acuerdo con un criterio de cercanía. Esta cercanía se define en términos de una determinada función de distancia, como la euclídea.

$$c_{ij} = \text{card} \{GR_i \wedge G_j\}, \text{ para } i, j = 0, \dots, 10 \quad (5.8)$$

La matriz inicial resultante para la escala general queda representada en la *Tabla 5.18*, donde podemos ver, por ejemplo, que de las 1.033 imágenes de gravedad objetivo *GR3*, 146 han sido clasificadas con gravedad *G2* por parte de los técnicos. De manera análoga, la diagonal resultante (resaltada en azul claro) recoge la clasificación correcta para cada grado de gravedad.

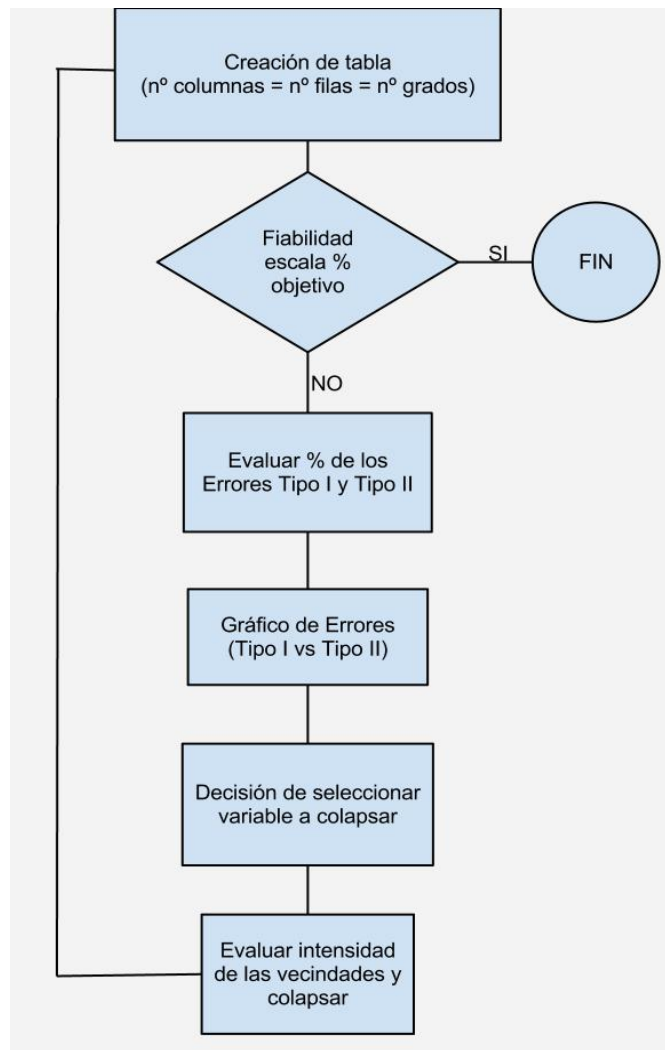


Figura 5.24. Diagrama de flujo del algoritmo de clustering propuesto

Evaluación de la fiabilidad de la escala inicial

Evaluar la fiabilidad tiene como objetivo saber el tanto por ciento de clasificación correcta de la Escala, $P(ok)$. Así, si la escala ya tiene una probabilidad de clasificación correcta superior o igual a un % objetivo, se puede considerar que la escala es fiable como para no ser mejorada. Y por el contrario, si la probabilidad es menor que el % objetivo, se puede evaluar la siguiente posible mejora para poder aumentar esta fiabilidad.

El cálculo de la Probabilidad de clasificación correcta, o de la fiabilidad de la escala, corresponde a la expresión

$$P(ok) = P\left(\bigcup_{k=0}^{10} (GR_k \wedge G_k)\right) \quad (5.9)$$

GR \ G	G0	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	TOTAL
GR0	656	206	72	30	10	4	0	0	0	0	0	978
GR1	323	369	164	113	53	17	13	0	0	0	0	1052
GR2	117	180	199	241	166	88	62	12	0	2	0	1067
GR3	4	90	146	225	301	148	96	17	6	0	0	1033
GR4	0	6	41	100	259	258	241	119	35	10	1	1070
GR5	0	2	13	51	145	217	298	233	81	12	1	1053
GR6	0	0	0	11	24	134	269	315	216	87	16	1072
GR7	0	0	0	0	0	31	185	356	322	125	0	1019
GR8	0	0	0	0	26	52	138	220	268	265	74	1043
GR9	0	0	0	0	3	8	56	230	332	335	97	1061
GR10	0	0	0	0	0	1	3	65	171	244	520	1004
TOTAL	1100	853	635	771	987	958	1361	1567	1431	1080	709	11452

Tabla 5.18. Tabla inicial para la Escala General

por lo que, la probabilidad de clasificación correcta de la Escala General se puede estimar por

$$P(ok) = \frac{\sum_{k=0}^{10} c_{kk}}{\sum_{i=0}^{10} \sum_{j=0}^{10} c_{ij}} = \frac{3.673}{11.452} = 0,3207 = 32,07\% \quad (5.10)$$

Es decir, la Escala General tiene una probabilidad de clasificación correcta relativamente baja, por lo que se procede a evaluar la especificidad y la potencia de la misma, con el objetivo de colapsar algunos grados y mejorar la fiabilidad resultante.

Evaluación de la especificidad y potencia de la escala inicial

La especificidad y la potencia de la escala sirven para poder evaluar el error de clasificación de la misma, y corresponde al cálculo de dos fuentes de error de clasificación, de acuerdo con las siguientes definiciones:

$$\text{a) Error de clasificación de Tipo I: } \alpha_k = P(G \neq k \mid GR = k) \quad (5.11)$$

$$\text{Especificidad: } 1 - \alpha_k = P(G = k \mid GR = k) \quad (5.12)$$

Es decir, el error de clasificación de Tipo I lo constituyen aquellos casos en que, condicionado a un valor de referencia GR , el valor G asignado por el técnico no coincide con el valor GR . Así, la especificidad ($1 - \alpha_k$) indica la tendencia que tienen los técnicos a asignar correctamente un determinado valor GR .

$$\text{b) Error de clasificación de Tipo II: } \beta_k = P(GR \neq k \mid G = k) \quad (5.13)$$

$$\text{Potencia: } 1 - \beta_k = P(GR = k \mid G = k) \quad (5.14)$$

Es decir, el error de clasificación de Tipo II lo constituyen aquellos casos en que, condicionado a un valor de clasificación G por parte de los técnicos, el valor objetivo GR subyacente no coincide con la gravedad asignada. Así, la potencia ($1 - \beta_k$) indica la probabilidad de que una imagen a la que los técnicos han asignado una gravedad G , esta se corresponda con la gravedad de referencia GR .

El procedimiento de mejora consistirá en minimizar los errores de Tipo I y de Tipo II o, equivalentemente, maximizar la especificidad y la potencia, definidas en las expresiones (5.12) y (5.14). La *Tabla 5.19* amplía la *Tabla 5.18* con los errores de clasificación de Tipo I y de Tipo II, y destaca los valores máximos y mínimos para cada uno de los errores de clasificación.

Como conclusión de la evaluación de la especificidad y de la potencia para la escala propuesta (Escala General), con 11 grados repartidos desde $G = 0$ a $G = 10$, se puede observar que:

- a) $GR = 0$ es el grado más específico, es decir, el que con más frecuencia asignan correctamente los técnicos. Esto es razonable que así sea, pues al ser el grado de definición más clara, precisa (gravedad nula: elemento constructivo en perfecto estado de conservación) y de carácter extremo, es más probable que los técnicos lo asignen correctamente.
- b) $GR = 2$ es el grado menos específico, es decir, el que con menos frecuencia asignan correctamente los técnicos. Esto es razonable que así sea, pues al ser un grado de definición difusa (gravedad muy baja-baja: deterioros muy leves), con fronteras difusas entre gravedad muy baja (primeros indicios de deterioros muy leves) y gravedad baja (deterioros leves), es más probable que los técnicos no lo asignen correctamente, y asignen en cambio otros valores de G cercanos.

GR \ G	G0	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	TOTAL	Error clasif. Tipo I (%)
GR0	656	206	72	30	10	4	0	0	0	0	0	978	32.92
GR1	323	369	164	113	53	17	13	0	0	0	0	1052	64.92
GR2	117	180	199	241	166	88	62	12	0	2	0	1067	81.35
GR3	4	90	146	225	301	148	96	17	6	0	0	1033	78.22
GR4	0	6	41	100	259	258	241	119	35	10	1	1070	75.79
GR5	0	2	13	51	145	217	298	233	81	12	1	1053	79.39
GR6	0	0	0	11	24	134	269	315	216	87	16	1072	74.91
GR7	0	0	0	0	0	31	185	356	322	125	0	1019	65.06%
GR8	0	0	0	0	26	52	138	220	268	265	74	1043	74.30
GR9	0	0	0	0	3	8	56	230	332	335	97	1061	68.43
GR10	0	0	0	0	0	1	3	65	171	244	520	1004	48.21
TOTAL	1100	853	635	771	987	958	1361	1567	1431	1080	709	11452	
Error clasif. Tipo II (%)	40.36	56.74	68.66	70.82	73.76	77.35	80.24	77.28	81.27	68.98	26.66		

Tabla 5.19. Errores de Clasificación de Tipo I y II para la Escala General y los valores mínimos (en verde) y máximos (en marrón)

- c) $G = 10$ es el grado con más potencia, es decir, es aquel que cuando es asignado por los técnicos mayor probabilidad tiene de ser correcto. Esto es razonable que así sea, pues además de ser grado de carácter extremo, su definición es a su vez clara y por tanto poco difusa (gravedad extrema: no es concebible una gravedad ni un riesgo superior; existencia de lesiones en fase terminal, y el colapso se puede producir en cualquier momento). Así, en caso que un técnico asigne $G = 10$ es que el técnico interpreta que el elemento constructivo está extremadamente devastado, siendo así probable que se corresponda realmente con el valor G de referencia $GR = 10$.
- d) $G = 8$ es el grado con menos potencia, es decir, el que es menos fiable cuando es asignado por los técnicos. Esto es razonable que así sea, pues al ser un grado de definición difusa (gravedad alta-muy alta: existencia de lesiones de entidad entre grave y muy grave, en fase muy avanzado), y como se ha visto en apartados anteriores los técnicos tienen cierta tendencia a sobrevalorar el grado de gravedad, y dado que grados inferiores a $GR = 8$ también son de definición difusa, es probable que en casos en que corresponda $GR = 7$ o incluso $GR = 6$, los técnicos asignen erróneamente $G = 8$.

Los valores máximos destacados en la *Tabla 5.18* pueden indicar el camino para agrupar dos grados distintos. De manera análoga también se podría construir una tabla equivalente para maximizar la clasificación correcta en vez de minimizar el error, a partir de la especificidad $1-\alpha_k$ y de la potencia $1-\beta_k$ de cada grado de gravedad. En lo que sigue hemos optado por la minimización de los errores.

Gráfica de Errores Tipo I y Tipo II

Con el objetivo de determinar qué grado de gravedad clasifica con mayor error y teniendo en cuenta el interés en minimizar conjuntamente ambos errores de Tipo I y Tipo II, proponemos la norma del vector (α_k, β_k) , e_k como medida global del error de clasificación en el grado k de gravedad, es decir,

$$e_k = \sqrt{\alpha_k^2 + \beta_k^2} \quad (5.15)$$

La *Tabla 5.20* muestra los resultados para cada uno de los grados de gravedad, y permite determinar que el grado de gravedad $GR = 5$ es el que mayor error global de clasificación tiene, por lo que procede agrupar dicho grado con algunas de sus vecindades.

	Error tipo I (α_k)	Error tipo II (β_k)	Error global (e_k)
GR0	0.3292	0.4036	0.5209
GR1	0.6492	0.5674	0.8622
GR2	0.8135	0.6866	1.0645
GR3	0.7822	0.7082	1.0552
GR4	0.7579	0.7376	1.0576
GR5	0.7939	0.7735	1.1084
GR6	0.7491	0.8024	1.0977
GR7	0.6506	0.7728	1.0102
GR8	0.7430	0.8127	1.1012
GR9	0.6843	0.6898	0.9716
GR10	0.4821	0.2666	0.5509

Tabla 5.20. Tabla de Errores Tipo I, Tipo II y global para cada GR

De manera análoga el error de clasificación e_k puede ser visto como la distancia al origen de coordenadas $(0, 0)$, y en este sentido la *Figura 5.25* ilustra geoméricamente la distribución de errores de la escala actual, y podemos apreciar como la gravedad $GR = 5$ es la más alejada del origen de coordenadas. También se observa, como era de esperar, que los grados $GR = 0$ y $GR = 10$ son los grados más cercanos al punto $(0,0)$.

Equivalentemente la *Tabla 5.20* y la *Figura 5.25* pueden ser reformuladas en términos de sus respectivos complementos a 1, aludiendo a la maximización del binomio especificad y potencia. En este sentido el grado $GR = 5$ es el que está más cerca del punto $(1, 1)$.

En la *Figura 5.25* también podemos identificar por encima de la diagonal aquellos grados de gravedad para los cuales el error de Tipo II es superior al error de Tipo I ($GR =$

0, 6, 7, 8 y 9), y análogamente aquellos grados para los cuales el error de Tipo I es superior al error de Tipo II ($GR = 1, 2, 3, 4, 5$ y 10). Aparte de las singularidades de los casos $GR = 0$ y $GR = 10$, la anterior identificación permite concluir una mayor probabilidad de clasificación incorrecta para los grados bajos, así como una mayor no credibilidad de la asignación de los técnicos para los grados altos. Este efecto conjunto demuestra un sesgo al lado de la seguridad, es decir sobreestimación del grado de gravedad, por parte de los técnicos.

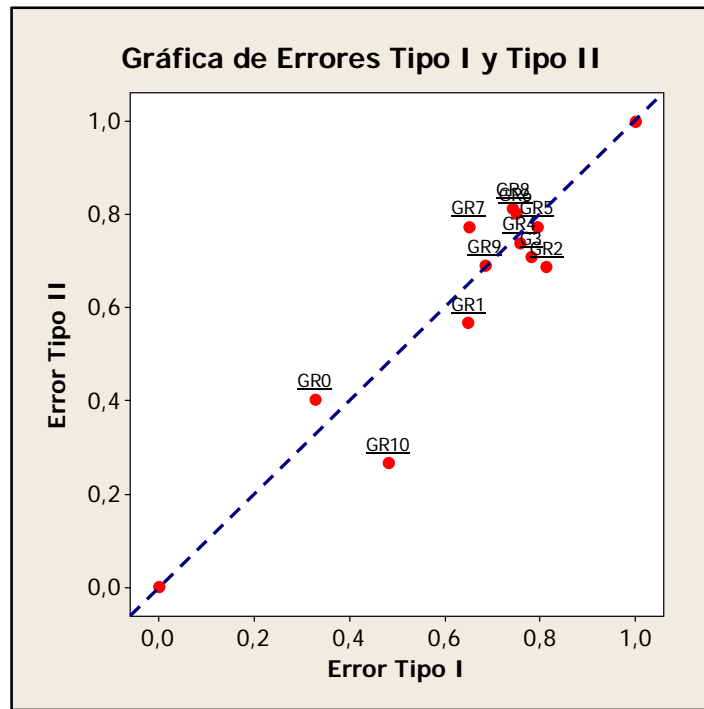


Figura 5.25. Gráfico de Errores Tipo I y II para los once valores de GR (Scatterplot)

Evaluación de vecindades

Una vez se ha determinado el valor de GR a agrupar ($GR = 5$, en nuestro caso), es necesario evaluar la intensidad de las vecindades para poder tomar la decisión si unir el grado a colapsar con su grado inferior, o superior. Para ello separaremos los errores de clasificación Tipo I y Tipo II según correspondan a grados inferiores o superiores, de acuerdo con las siguientes igualdades y notaciones.

$$\alpha_k = P(G \neq k | GR = k) = P(G < k | GR = k) + P(G > k | GR = k) = \alpha_k^- + \alpha_k^+ \quad (5.16)$$

$$\beta_k = P(GR \neq k | G = k) = P(GR < k | G = k) + P(GR > k | G = k) = \beta_k^- + \beta_k^+ \quad (5.17)$$

De esta manera podemos definir los vectores de inercia inferior e inercia superior por:

$$i^- = (\alpha_k^-, \beta_k^-) \text{ e } i^+ = (\alpha_k^+, \beta_k^+). \quad (5.18)$$

El vector de mayor norma indicará el sentido de la agrupación. En nuestro caso para $GR = 5$ se obtiene:

$$\alpha_5^- = P(G < 5 | GR = 5) = \frac{211}{1053} = 0,2004$$

$$\alpha_5^+ = P(G > 5 | GR = 5) = \frac{625}{1053} = 0,5935$$

$$\beta_5^- = P(GR < 5 | G = 5) = \frac{515}{958} = 0,5376$$

$$\beta_5^+ = P(GR > 5 | G = 5) = \frac{226}{958} = 0,2359$$

por lo tanto, $i^- = (\alpha_k^-, \beta_k^-) = (0,2004 ; 0,5376)$ e $i^+ = (\alpha_k^+, \beta_k^+) = (0,5935 ; 0,2359)$, con normas 0,5737 y 0,6387, respectivamente, lo que nos indica que la agrupación óptima se obtiene al agrupar $GR = 5$ y $GR = 6$, dando lugar a un nuevo grado que denotaremos $GR = 5'$.

Proceso de simplificación de la escala

Cuando repetimos sucesivamente la metodología propuesta en el apartado 5.8.6, obtenemos los resultados de la *Tabla 5.21*, que muestran las sucesivas propuestas de escala, el % de clasificación correcta de cada una de ellas, así como la desviación tipo del error global, $\sigma(e_k)$, en cada sucesiva propuesta de escala.

Como se puede observar en la *Tabla 5.21*, a medida que se va reduciendo el número de grados de la escala, aumenta la fiabilidad de la escala resultante, al aumentar la probabilidad de clasificación correcta, o en otros términos, aumenta el porcentaje de técnicos que asignan valor de G igual al valor GR (G de referencia o patrón). Se puede observar asimismo que para 5 grados (en la tabla enmarcado en rojo), la desviación tipo del error global, $\sigma(e_k)$, es mínima, lo que implica que es máximo el nivel de homogeneización entre los diferentes grados que componen la escala, al haber una probabilidad similar de fallo entre los diferentes grados.

En la *Figura 5.26* se muestra gráficamente lo explicado, donde los puntos de color azul indican cómo va aumentando la probabilidad de clasificación correcta a medida que se reduce el número de grados de la escala (tendencia que se visualiza con la flecha azul), y los puntos de color rojo indican cómo varía la desviación tipo del error global, $\sigma(e_k)$, a medida que se reduce el número de grados de la escala (tendencia que se visualiza con la flecha roja), dándose el mínimo de $\sigma(e_k)$ para 5 grados (que se visualiza con las delimitaciones en verde). En cambio al pasar a 4 grados (se visualiza con un círculo naranja) se produce un notable incremento de $\sigma(e_k)$.

											Nº GRADOS	% CLASIFICACIÓN CORRECTA	$\sigma(e_k)$
GR0	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	11	32.07%	0,2046
GR0	G1	G2	G3	G4	G5'	G6	G7	G8	G9	G10	10	35.85%	0,2035
GR0	G1	G2	G3	G4	G5'	G6	G7'	G8	G9	G10	9	40.58%	0,1984
GR0	G1	G2'	G3	G4	G5'	G6	G7'	G8	G9	G10	8	43.96%	0,1784
GR0	G1	G2'	G3	G4'	G5'	G6	G7'	G8	G9	G10	7	49.79%	0,1535
GR0	G1	G2'	G3	G4'	G5'	G6	G7''	G8	G9	G10	6	58.10%	0,1397
GR0	G1'	G2'	G3	G4'	G5'	G6	G7''	G8	G9	G10	5	62.88%	0,0520
GR0	G1'	G2'	G3	G4''	G5'	G6	G7''	G8	G9	G10	4	76.91%	0,1379
GR0	G1'	G2'	G3	G4'''	G5'	G6	G7''	G8	G9	G10	3	82.79%	0,1753
GR0'	G1'	G2'	G3	G4'''	G5'	G6	G7''	G8	G9	G10	2	89.36%	0,0532
GR0''	G1'	G2'	G3	G4'''	G5'	G6	G7''	G8	G9	G10	1	100.00%	-

Tabla 5.21. Proceso de simplificación de la escala

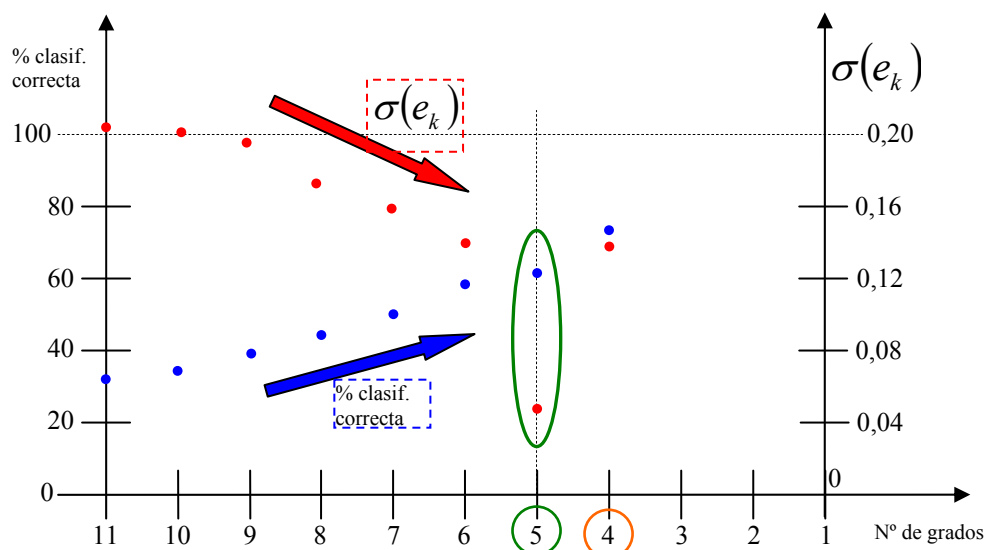


Figura 5.26. Proceso de simplificación de la escala

De manera equivalente la Figura 5.27 muestra el proceso de simplificación de la escala mediante un gráfico de clustering. Entre paréntesis se presenta la desviación tipo del error global, $\sigma(e_k)$, para cada paso del proceso de clustering.

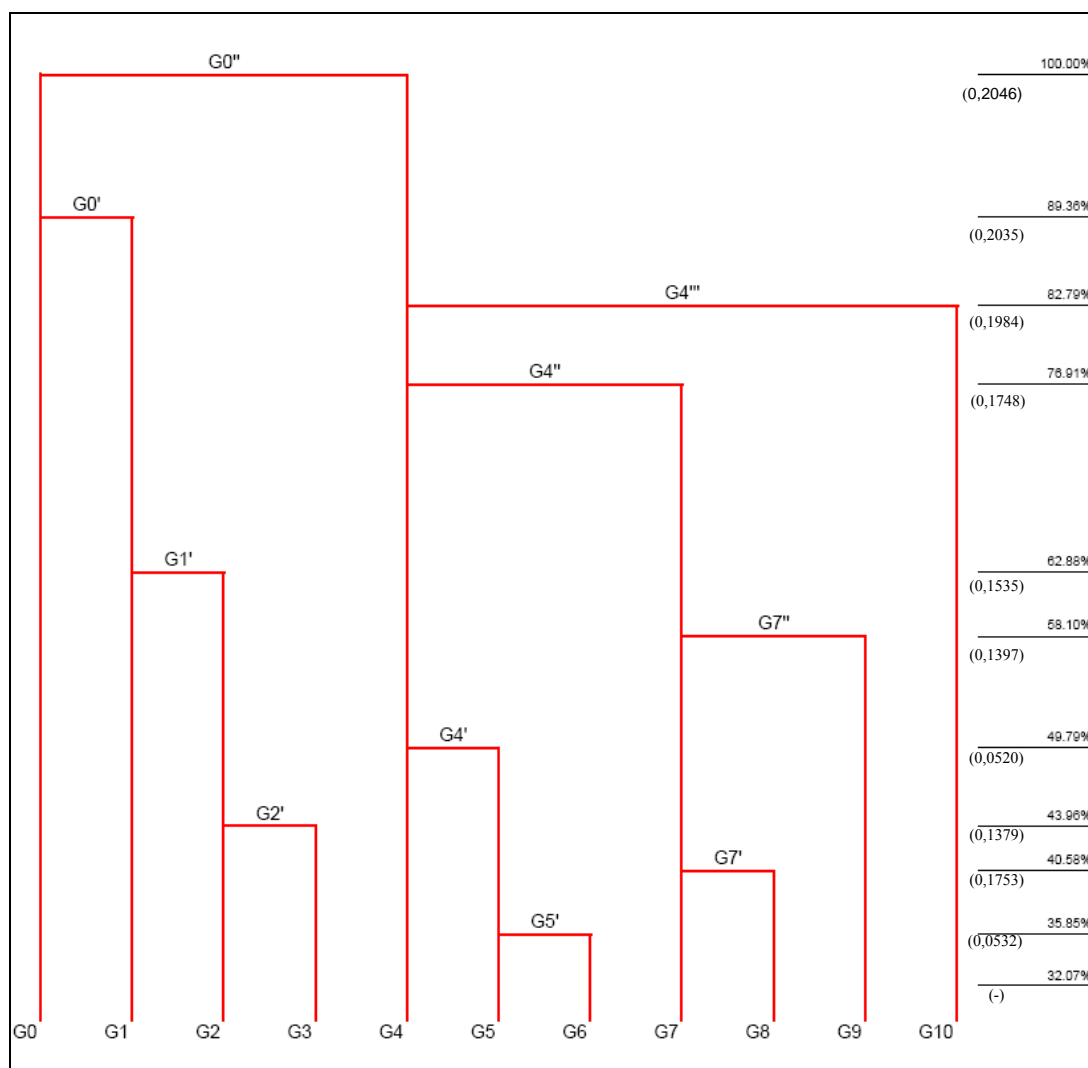


Figura 5.27. Gráfico de clustering para la simplificación de la escala

5.4.2. Propuesta de nueva escala

Como se ha visto en la *Tabla 5.21* y en las *Figuras 5.26* y *5.27* del apartado anterior, se puede ir reduciendo el número de grados de la escala a la vez que aumenta la fiabilidad de la escala resultante. Una propuesta razonable es la que balancee el número de grados y la fiabilidad asociada. El otro criterio elegido para seleccionar el número de grados idóneo es el de maximizar la homogeneidad del error global en cada uno de los grados, es decir, en otros términos, minimizar la desviación tipo de los errores globales, $\sigma(e_k)$, obtenidos. Tal como ilustra la *Tabla 5.21* y la *Figuras 5.26* y *5.27* esto se obtiene para una escala de 5 grados, que es la escala seleccionada como idónea para utilizar el método de asignación directa.

Así, proponemos una escala de 5 grados (desde “gravedad nula” hasta “gravedad extrema”) con una probabilidad de clasificación correcta del 62,88%, en lugar de la escala inicial con 11 grados (desde $G = 0$ a $G = 10$) con una probabilidad del 32,07%. Igualmente se propone por coherencia con toda la metodología empleada que los valores vayan de 0 a

4, y análogamente, que la notación de este grado o índice de gravedad simplificado sea GS . Los 5 grados distintos de la escala propuesta, de $GS = 0$ a $GS = 4$, se definen en la *Tabla 5.22*.

GS	Gravedad	Definición
0	Nula	El elemento constructivo está en perfecto estado de conservación.
1	Leve	Deterioros leves. Se recomiendan revisiones de mantenimiento del elemento constructivo para evitar que la gravedad aumente.
2	Moderada	Degradaciones de entidad moderada. Es necesaria una revisión de mantenimiento y analizar la posibilidad, a medio plazo, de aplicar tratamientos terapéuticos al elemento constructivo para mejorar su durabilidad.
3	Alta	Existencia de lesiones graves, en fase avanzada. Necesarios tratamientos terapéuticos de entidad alta, en breve plazo, con la posibilidad de sustitución del elemento dañado. Si el elemento evaluado es la estructura general del edificio, o un forjado, empieza a ser recomendable el desalojo del edificio o vivienda, y/o la toma de medidas provisionales de anestesia estructural, como apuntalamientos o similar.
4	Extrema	No es concebible una gravedad superior. Existencia de lesiones en fase terminal, y el colapso se puede producir en cualquier momento. El elemento constructivo analizado está tan devastado, que prácticamente el único tratamiento terapéutico posible es su sustitución. Si el elemento evaluado es la estructura general del edificio, o un forjado, es necesario el desalojo inmediato del edificio o vivienda.

Tabla 5.22. Propuesta de escala simplificada de gravedad de elementos constructivos en edificios

Igual que se ha hecho para la Escala General, con objeto de facilitar la visualización de la distribución de gravedades de un elemento constructivo, se propone también para la Escala Simplificada que se puedan realizar mapas con curvas de nivel de las diferentes GS que tiene un elemento constructivo, ya sea este una viga, o todo un forjado, etc. Para una mayor visualización, se propone que a cada valor de GS se le asocie un color, tal como se muestra en la *Figura 5.28*.

GS	0	1	2	3	4
color					

Figura 5.28. Propuesta de colores asociados a los diferentes grados de gravedad en la Escala Simplificada

5.5. CONCLUSIONES

Del análisis estadístico de los datos recogidos se deduce, entre otros resultados, que en la denominada Escala General con 11 grados (de $G = 0$ a $G = 10$) existe una probabilidad de clasificación correcta de los técnicos respecto al valor GR objetivo del 32,07%, mientras que en la denominada Escala Simplificada con 5 grados (de $GS = 0$ a GS

= 4) existe una probabilidad de clasificación correcta de los técnicos respecto al valor *GS* objetivo del 62,88%. Por este motivo, se considera adecuado que en los casos en que el grado de gravedad de elementos constructivos se vaya a valorar en base a asignación directa, se utilice la Escala Simplificada, al haber menor variabilidad entre los técnicos y aceptable probabilidad de clasificación correcta.

En cambio, cuando se utilicen otros métodos diferentes a asignación directa, como el que se propone en el Capítulo 6 para fachadas, basado en indicadores y expresiones matemáticas, donde se reduce de forma muy notable el grado de variabilidad entre los técnicos para obtener valores de *G*, se considera adecuado utilizar la Escala General.

Igualmente cabe resaltar que valores de *G* (según la Escala General de 11 grados) se pueden traducir automáticamente a valores de *GS* (según la Escala Simplificada de 5 grados), tal y como se muestra en la *Tabla 5.21*, y se plasma de forma directa en la *Tabla 5.23*.

<i>G</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>GS</i>	0	1			2			3			4

Tabla 5.23. Correspondencia entre valores de G y de GS

Para finalizar este capítulo, conviene resaltar que en el ensayo los técnicos han realizado asignación directa de valores de *G* sólo en base a las definiciones genéricas de la escala. Pero si los técnicos, aparte de las definiciones genéricas de la escala, dispusieran además de un catálogo de imágenes de elementos constructivos con sus valores de *G* de referencia, que les sirviera a los técnicos de orientación e información adicional, es de esperar que la probabilidad de acierto para asignar valores de *G* aumentaría y sería superior al 32,07% que ha dado en el presente estudio. Este razonamiento queda recogido y ampliado en el Capítulo 7 de conclusiones y futuras líneas de investigación.

CAPÍTULO 6

PROPUESTA DE SISTEMA DE EVALUACIÓN DE FACHADAS (SEF)

6.1. INTRODUCCIÓN

En el Capítulo 4 se ha realizado la propuesta de una escala de gravedad de elementos constructivos para edificios y se han descrito sus características. El método utilizado en dicho capítulo para determinar los valores de la escala es el de asignación directa, en base a las definiciones genéricas que de cada grado se da en la escala. Análogamente en el Capítulo 4 se dice que la propuesta de escala queda complementada por otro método para determinar valores, basado en parámetros medibles y funciones matemáticas. El objeto de que coexista este segundo método con el método de asignación directa, es que con este último es de prever cierta variabilidad entre los técnicos a la hora de asignar valores, variabilidad que queda confirmada y es analizada en el Capítulo 5.

El objetivo de este capítulo es realizar una propuesta para evaluar la gravedad basada en parámetros medibles de forma objetiva, de manera que se reduzca todo lo posible el grado de variabilidad a la hora de asignar un determinado grado de gravedad G . Más en concreto, la propuesta consiste en la selección oportuna de parámetros y en los métodos de cálculo asociados.

El desarrollo de la metodología se centra en evaluar la gravedad de fachadas, y es una alternativa a la escala de gravedad de asignación directa definida en la Sección 4.5 para el cálculo de la gravedad de una zona, fuente principal de variabilidad entre técnicos. En lo que se refiere al cálculo de la gravedad de un sistema o de la totalidad del edificio se utiliza la misma metodología descrita en el Capítulo 4. El capítulo concluye con una aplicación a un caso de estudio con el objetivo de ilustrar las propiedades de la metodología propuesta.

La metodología se denomina Sistema de Evaluación de Fachadas (SEF), y se compone de dos partes: gráfica y numérica. En la **parte gráfica** se representará la fachada y las zonas que se delimitan de la misma, en base a las disfunciones existentes y a las características de los materiales y de los elementos constructivos que constituyen la fachada. En la **parte numérica**, una vez obtenidos los diferentes datos de la fachada a partir de la parte gráfica, se calculan los indicadores que permiten determinar el grado de gravedad de cada zona j de la fachada, G_j , con el menor grado de variabilidad posible. La *Figura 6.1* presenta un esquema de la metodología SEF propuesta.

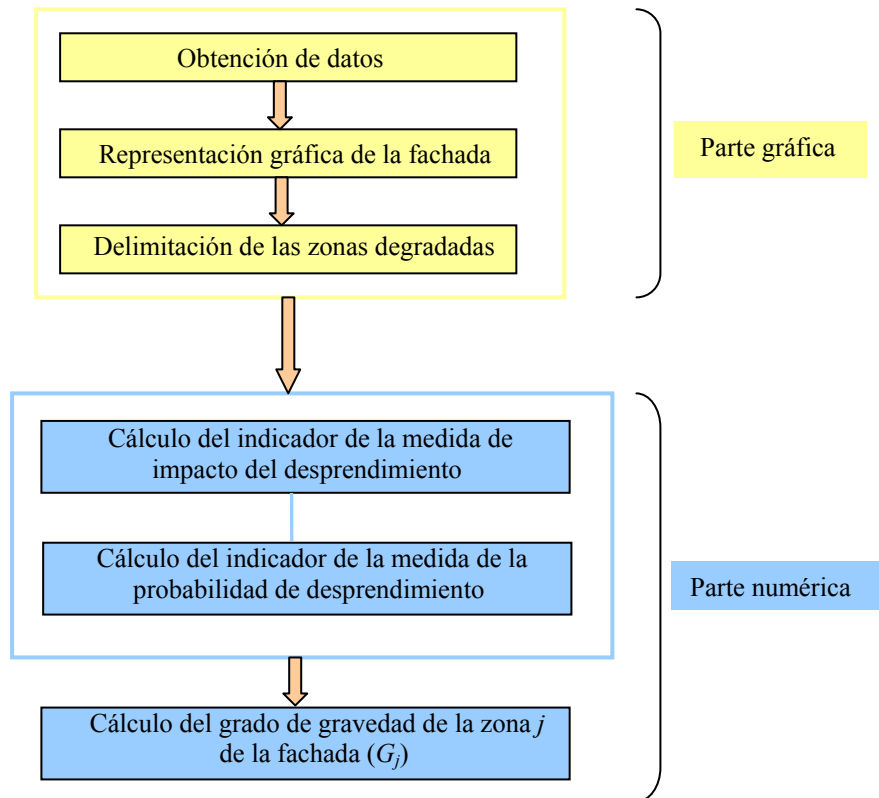


Figura 6.1. Esquema de la metodología Sistema de Evaluación de Fachadas (SEF)

Para el desarrollo de la metodología se han seleccionado siete casos de estudio de fachadas con distintas disfunciones, tipologías constructivas y materiales, con objeto de incorporar el mayor número de casuísticas posibles. Como se ha presentado en la *Figura 6.1*, la parte numérica se centra en el cálculo de dos indicadores como medida del impacto y de la probabilidad de desprendimiento, respectivamente. En lo que respecta a la energía de impacto se considerarán variables físicas de las zonas degradadas, y en lo que respecta a la probabilidad de desprendimiento se llevará a cabo un estudio estadístico con el objeto de caracterizar el modelo de probabilidad a partir de los síntomas identificables en fachada.

6.2. METODOLOGÍA SEF: PARTE GRÁFICA

6.2.1. Introducción

La parte gráfica tiene los dos objetivos principales siguientes:

- representación gráfica de la fachada
- delimitación de las zonas donde se detecta alguna degradación

La metodología para obtener los objetivos señalados consta de dos fases principales, que son la obtención de datos, y posteriormente la representación de los datos obtenidos. En los siguientes apartados se explica esta metodología.

6.2.2. Obtención de datos

El primer paso consiste en realizar la inspección visual de la fachada, así como la toma de datos suficientes (longitud, altura, etc.) para poder dibujarla con la mayor precisión posible. La inspección se realiza desde el exterior, realizando asimismo fotografías de la fachada, tanto vistas generales como de detalle. Para poder observar determinadas zonas que a simple vista no se ven con suficiente detalle se utilizan unos prismáticos, en especial en aquellas zonas donde hay disfunciones. Se revisa toda la fachada, incluyendo todos los elementos como son voladizos, cornisas, revestimientos, elementos ornamentales, aberturas practicables, barandillas y balaustradas, etc.

Se considera que para facilitar la labor del técnico es útil disponer de una ficha que sirva para estandarizar la toma de datos. Esta ficha debe ser de fácil aplicación e interpretación, y a la vez deben quedar recogidas las características principales de la fachada y de sus disfunciones. La ficha que se propone se presenta en la *Tabla 6.1*, y tiene tres partes, una de datos generales, otra de descripción de la fachada y otra de descripción de las disfunciones existentes.

Se debe realizar una ficha para cada fachada del edificio, caso que el edificio tenga más de una fachada. Junto a la ficha de la fachada, se debe incluir la representación gráfica de la misma, donde queden delimitadas y numeradas las diferentes disfunciones existentes.

6.2.3. Representación gráfica de la fachada

Una vez realizada la toma de datos, el siguiente paso es realizar la representación gráfica de la fachada, para lo cual se han utilizado las fotografías realizadas, así como las medidas principales de la fachada. Se utiliza la combinación del dibujo con las fotografías para obtener el conjunto de información necesaria, como se presenta en la *Figura 6.2*. Cabe resaltar que el dibujo es una herramienta más del método, no un fin en sí mismo, es decir que no es necesario que el dibujo sea de alta calidad, pero sí que recoja con detalle las zonas degradadas. También se pueden utilizar herramientas análogas, como la fotogrametría.

DATOS GENERALES			
Municipio:	C.P.:	Fecha de inspección:	
Dirección:			
Técnico inspección:		Titulación:	
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO			
Aislado:		Entre medianeras:	
DESCRIPCIÓN DE LA FACHADA (numerar la fachada, caso de haber más de una fachada)			
PARAMENTO (revestimiento y material base)			
ABERTURAS			
ELEMENTOS SALIENTES			
ELEMENTOS SINGULARES			
IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS LESIONES			
ID	LOCALIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
1			
etc.			

Tabla 6.1. Ficha de inspección de fachada

La representación gráfica de la fachada se realiza con un programa informático de dibujo, como por ejemplo Autocad, de donde se obtiene la superficie de la zona afectada. Conviene establecer el eje de coordenadas del dibujo en la base (cota 0) del edificio, ya que de esta manera es más fácil el cálculo de las alturas hasta el centro geométrico de las zonas con disfunciones.

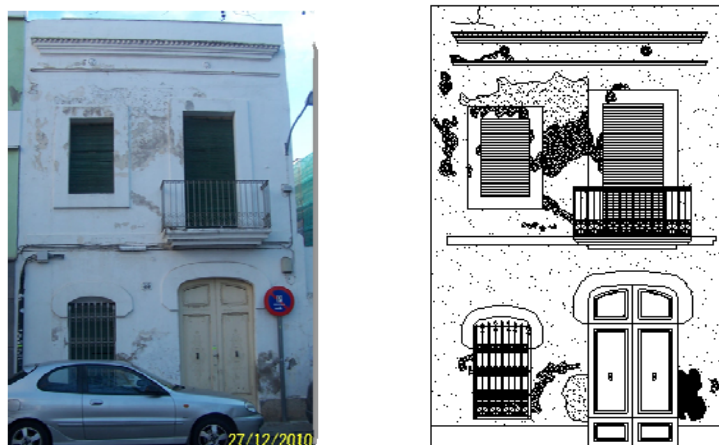


Figura 6.2. Ejemplo de imagen y representación gráfica de fachada

6.2.4. Delimitación de las zonas degradadas

Una vez realizada la representación gráfica de la fachada, el siguiente paso es delimitar las zonas degradadas, con el criterio general que cada zona delimitada tiene unas características homogéneas en cuanto al tipo de material, tipología constructiva y disfunción existente. Los datos de las diferentes zonas degradadas delimitadas se recopilan en una tabla en la misma hoja de dibujo, que se presenta en la *Tabla 6.2*. Esta tabla se exporta a una hoja de cálculo donde posteriormente se realizan los cálculos necesarios, que se explican más adelante.

ID	SUPERF.	h	GROSOR	MATERIAL	1_s	SUP. CORREG.	DENS. MATERIAL
1							
etc.							

Tabla 6.2. Zonas degradadas delimitadas de fachada

donde,

- ID: número de identificación de cada zona delimitada (correlativo).
- Superficie: superficie en m^2 de la zona delimitada.
- h : altura en m del centro geométrico de la zona delimitada, tomada desde la cota 0 de la fachada.
- Grosor: grosor en m del material de la zona delimitada.
- Material: tipo de material de la zona delimitada (si es mortero de cemento, o fábrica de ladrillo, etc.).
- 1_s : factor corrector de superficie, en tanto por uno, para los casos en que la zona delimitada tenga partes que ya se han desprendido, ajustando así la superficie delimitada en el dibujo con la que realmente está degradada y presenta riesgo de desprendimiento.
- Superficie corregida: superficie en m^2 de la zona delimitada a la que se ha aplicado el factor corrector de superficie (1_s), superficie corregida = $1_s \cdot$ superficie.
- Dens. Material: densidad del material (en kg/m^3).

Cabe decir que en la delimitación de las zonas degradadas se ha constatado que hay cierta variabilidad según el técnico que intervenga, debido a que, en general, los límites de estas zonas no son exactos ni precisos, sino que son difusos, y por tanto su delimitación puede estar sujeta a cierta variabilidad. Por este motivo, en lugar de utilizar el método de delimitación por polilíneas que siguen los límites aproximados de las zonas degradadas (*Figura 6.3a*), se ha utilizado el método de delimitación mediante rectángulos de las zonas degradadas (*Figura 6.3b*). Con este método se engloba más superficie que con las polilíneas, aproximando por exceso, pero reduce la variabilidad entre los técnicos, ya que

las medidas para definir los rectángulos se derivan sólo de los valores extremos de las zonas degradadas.

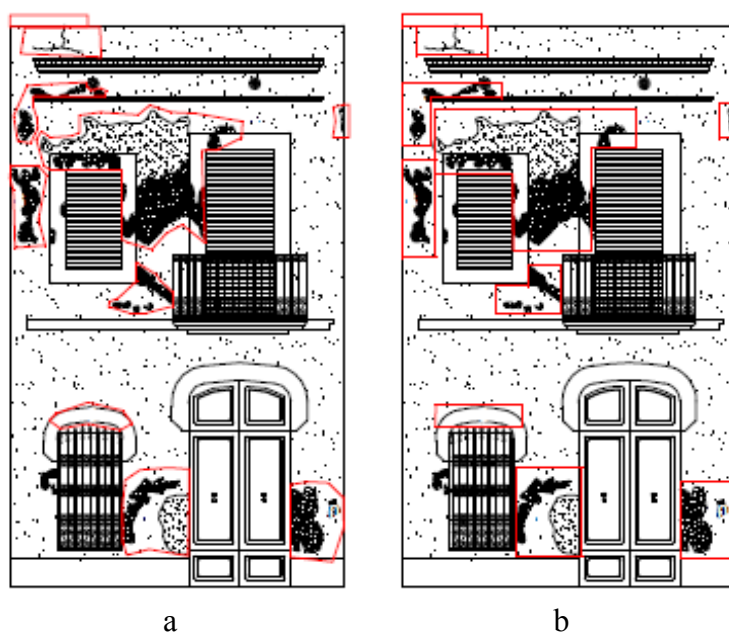


Figura 6.3. Ejemplo de delimitación con polilíneas (a) y rectángulos (b)

6.2.5. Casos especiales

Como se ha explicado en el apartado 6.2.2, para la obtención de datos se realiza inspección ocular de la fachada desde el exterior de forma detallada con ayuda de prismáticos. Esta forma de proceder en general es adecuada pues los datos que se recogen en general son correctos. Con todo, hay casos especiales, poco frecuentes, en que graves lesiones en fachada no producen síntomas preocupantes en el exterior de la fachada, y la grave lesión puede pasar desapercibida con una inspección desde la vía pública. En estos casos especiales se debe revisar la fachada también desde el interior del edificio.

Un ejemplo de lo referido lo encontramos en Ruiz (2013) y es el caso de la lesión de licuefacción en fachadas de tapia, en las cuales en general en el exterior sólo aparecen como síntomas unas humedades poco preocupantes. En cambio la lesión es muy grave pudiendo tener la pared de tapia graves pérdidas de sección en su interior y elevado riesgo de colapso. En la *Figura 6.4* se muestra un ejemplo de este fenómeno, que corresponde a la fachada número 2 (imágenes 2a y 2b) de la muestra de 7 casos de estudio que se explica más adelante, en el apartado 6.5.1.

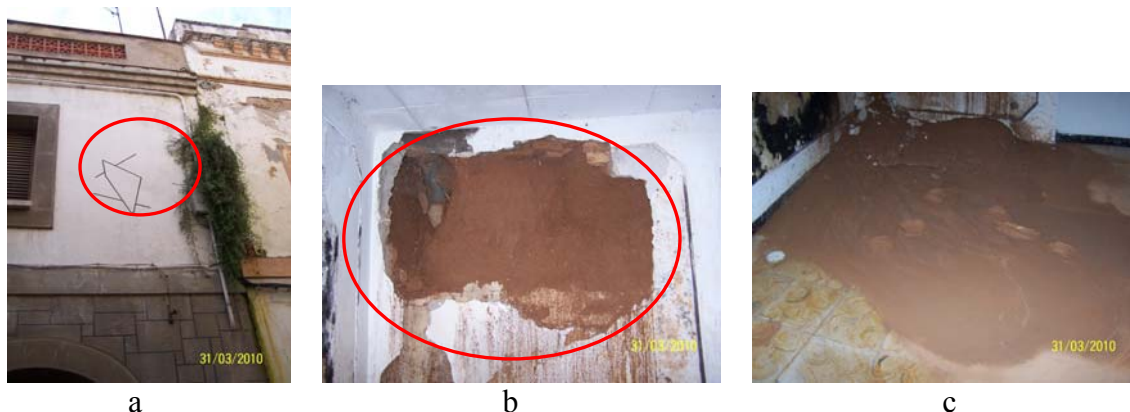


Figura 6.4. Ejemplo de lesión de licuefacción en fachada de tapia

Las zonas delimitadas en las fotos a y b de la *Figura 6.4* corresponden a la misma zona de la fachada. Se puede apreciar que en la vista exterior de la fachada (imagen a) no se observa ningún indicio preocupante, ya que la inmensa mayor parte de veces que hay vegetación en la fachada o deterioramientos superficiales leves del revestimiento no son síntoma de lesión grave. En cambio desde el interior (imagen b) se observa una masiva pérdida de sección de la pared de tapia, siendo evidente que es una lesión de extrema gravedad. En la imagen c se puede apreciar la tapia en estado casi líquido depositada en el suelo.

6.3. METODOLOGÍA SEF: PARTE NUMÉRICA

6.3.1. Introducción

En el Capítulo 4, en el apartado 4.5.5 se realiza una descripción de más detalle del criterio de asignación directa de valores G , cuando el elemento a evaluar es la fachada de un edificio. En él se indica que se tengan en cuenta dos parámetros principales, que son la probabilidad de que se produzca el suceso de interés, que en general será la probabilidad de que se produzca un desprendimiento de fachada, y la energía de impacto que puede producir el desprendimiento. Análogamente, en la *Tabla 4.5* se presenta la escala de gravedad con definiciones específicas para fachadas de cada grado, para ser utilizada con el método de asignación directa.

La presente Sección 6.3 tiene como objetivo desarrollar un método basado en el uso de indicadores que sean medibles de la manera más objetiva posible y el uso de funciones matemáticas, con objeto de que se reduzca todo lo posible el grado de variabilidad entre diferentes decisores a la hora de determinar el valor de gravedad de la zona j , G_j .

6.3.2. Cálculo del grado de gravedad de la zona j de la fachada, G_j

Recogiendo el espíritu de la escala de gravedad propuesta en el apartado 4.5.5, se trata de objetivar la medida de la energía de impacto y la probabilidad de desprendimiento de la zona j considerada. La cuantificación de ambas medidas debe basarse en información

objetiva observable de la fachada, tal como las características físicas y los síntomas observados. En consecuencia, si definimos

- $I_j = I(x_j) \in [0,1]$, como indicador de la medida de energía de impacto de desprendimiento, en función de las características físicas x_j , de la zona j de la fachada y
- $P_j = P(y_j) \in [0,1]$, como indicador de la medida de la probabilidad y_j de desprendimiento de la zona j de la fachada, en función de los síntomas observados,

se propone la expresión

$$G_j = 10 \cdot I_j \cdot P_j = 10 \cdot I(x_j) \cdot P(y_j) \quad (6.1)$$

para asignar valores $G_j \in [0,10]$ de la gravedad de la zona j .

En las siguientes secciones se detallan las variables x_j y y_j así como la definición de las funciones de valor I y P asociadas.

6.3.3. Indicador para la medida de la energía de impacto del desprendimiento

La energía de impacto del desprendimiento de la zona j se obtiene a partir de los conceptos físicos de cantidad de movimiento ($p = m \cdot v$), fuerza ($F = m \cdot a = \frac{dp}{dt}$) y trabajo ($W = F \cdot d$, con dimensiones $[ML^2T^{-2}]$, y unidad en el sistema internacional de Joule (J)), y viene dada por la expresión

$$W_j = m_j \cdot h_j \cdot g \quad (6.2)$$

donde

- m_j = masa de la zona j considerada
- h_j = altura del centro geométrico de la zona j considerada
- g = aceleración de la gravedad ($g = cte = 9,8 \text{ m/s}^2$)

A efectos de valorar el daño que produce el impacto de un elemento de fachada que se desprende, es necesario que en la expresión (6.2) también intervenga la superficie de la zona j considerada, S_j . Esto es así ya que un mismo valor de energía puede que tenga asociados casos con características de impacto sobre un individuo claramente diferentes, en función de S_j , por la relación inversa existente en el binomio superficie-impacto.

Sirva como ilustración de esta afirmación el siguiente ejemplo. Supongamos dos zonas degradadas de fachadas que tienen cierto riesgo de desprendimiento, y en los dos casos $m = 3 \text{ kg}$, y $h = 10 \text{ m}$, por lo que tienen el mismo valor de W . En cambio en el primer caso la masa de 3 kg corresponde a un objeto de poca superficie (p.e. un trozo de

cornisa de 20 cm x 10 cm, con un espesor medio de 8,3 cm, teniendo en cuenta un peso específico de $1.800 \text{ kp}/\text{m}^3$). En cambio en el segundo caso la masa de 3 kg corresponde a un objeto de superficie muy superior a la anterior (p.e. una capa de pintura de 200 cm x 100 cm, con un espesor medio de 1mm, teniendo en cuenta un peso específico de $1.500 \text{ kp}/\text{m}^3$).

Los efectos de estos dos desprendimientos sobre una persona son claramente diferentes, a pesar que sean de la misma masa y caigan desde la misma altura. Efectivamente, las consecuencias en el primer caso serían muy graves, ya que producirían con probabilidad la muerte de la persona, mientras que en el segundo caso las consecuencias serían poco relevantes, ya que la consecuencia sería poco más que manchar de restos de pintura a la persona afectada.

La medida de la energía de impacto del desprendimiento se muestra en la expresión (6.3).

$$x_j = \frac{m_j \cdot h_j \cdot g}{S_j} \quad (\text{en } \text{J}/\text{m}^2) \quad (6.3)$$

Con el fin de estandarizar el valor x_j en el intervalo $[0,1]$ se propone la función de valor $I_j = I(x_j) \in [0,1]$ de la *Figura 6.5*, que describe una cierta tendencia lineal con dos curvas de suavizado en la parte inicial y final.

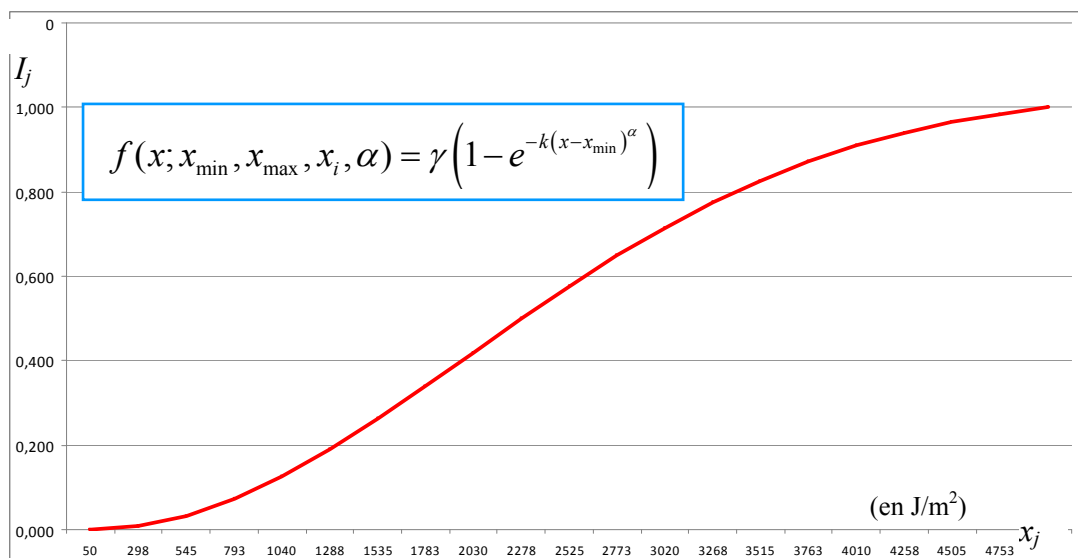


Figura 6.5. Función de valor I_j para la energía de impacto

Esta función de valor se ha diseñado de acuerdo con los siguientes requisitos:

- En el primer tramo de la gráfica, para valores muy pequeños, en el intervalo $x \in [0, x_{\min}]$, la función minimice su energía de impacto. Para determinar el valor de

x_{\min} se considera el impacto de un revestimiento de mortero de cemento de un espesor de 2,5 mm, caído desde una altura de 1 m. Es razonable establecer que ese impacto no produce ningún efecto sobre el ser humano. Considerando un peso específico del revestimiento de mortero de cemento $\gamma = 2 \text{ Tn}/\text{m}^3$, se obtiene un valor $x_{\min} = 50 \text{ J}/\text{m}^2$.

- b. La función I_j se sature para un valor de x_{\max} determinado. Se considera que a partir de cierto punto el daño que se pueda ocasionar es suficientemente importante como para seguir manteniendo el valor máximo ($I_j = 1$). Para determinar este valor de saturación se ha realizado búsqueda bibliográfica, con el fin de encontrar algún estudio que evaluara el daño sufrido por un ser humano al recibir determinadas fuerzas de impacto por caída de objetos.

Por un lado, estudios realizados en el campo de la automoción para evaluar los daños que sufren seres humanos (mediante el uso de maniqués especiales) que están en el interior de vehículos que sufren diferentes tipos de colisiones controladas, se estiman poco aplicables a nuestro caso de estudio, ya que las condiciones del conjunto de las fuerzas dinámicas e impactos que se producen sobre el ser humano en el caso de colisiones de vehículos no son comparables a las que se producen al recibir un impacto por la caída de un objeto de determinada masa por unidad de superficie, desde determinada altura.

Finalmente, se ha considerado aplicable un estudio en el campo de la Seguridad e Higiene sobre los esfuerzos que deben soportar los cascos de obra (Centurion Safety Products Ltd., 2009). Dicho estudio está basado en el Test de absorción de golpes según la normativa *UNE-EN 397:1995* en la que se fija que los cascos de obra deben resistir un impacto de una masa de 5 kg que caiga desde una altura de 1 m.

Así pues, se ha considerado razonable establecer como valor de saturación de la medida de energía de impacto (x_{\max}) una masa de 5 kg que caiga desde una altura de 1 m. Ciertamente, si para fuerzas de impacto superiores a las señaladas, un casco de obra puede fracturarse, es razonable considerar que un impacto que puede fracturar un casco de obra, si incidiera directamente sobre un ser humano (lógicamente no protegido por casco) le produciría daños severos o muy severos. Se considera razonable fijarlo como valor de saturación x_{\max} . Así, con unos datos de $m = 5 \text{ kg}$ y $h = 1 \text{ m}$ se obtiene que $x_{\max} = 5.000 \text{ J}/\text{m}^2$ (considerando que la superficie de la masa es de 10 cm x 10 cm).

- c. La función presente una inflexión en un cierto punto x_i . Para determinar el punto de inflexión en este trabajo se han considerado los datos de $m = 2 \text{ kg}$ y $h = 1 \text{ m}$ para los que se obtiene $x_i = 2.000 \text{ J}/\text{m}^2$ (bajo las mismas condiciones experimentales del requisito b, considerando que la superficie de la masa es de 10 cm x 10 cm).
- d. La función sea no-decreciente en $[x_{\min}, x_{\max}]$

Esta tipología de función se obtiene mediante la sigmoide tetraparametrizada

$$f(x; x_{\min}, x_{\max}, x_i, \alpha) = \gamma \left(1 - e^{-k(x-x_{\min})^\alpha} \right) \quad (6.4)$$

donde,

- x_{\min} : valor inferior
- x_{\max} : valor superior
- x_i : abcisa del punto de inflexión
- α : factor de forma, $\alpha > 1$

con

$$k = \frac{(\alpha - 1)}{\alpha (x_i - x_{\min})^\alpha} \quad (6.5)$$

$$\gamma = \left(1 - e^{-k(x_{\max} - x_{\min})^\alpha} \right)^{-1} \quad (6.6)$$

y

$$x_{\min} = 50 \text{ J/m}^2, \quad x_{\max} = 5.000 \text{ J/m}^2, \quad x_i = 2.000 \text{ J/m}^2 \quad \text{y} \quad \alpha = 2.$$

6.3.4. Indicador para la medida de la probabilidad del desprendimiento

Lo que se debe medir en este caso es una variable categórica ordinal, y_j (la probabilidad de que se produzca un desprendimiento), no una variable continua (masa, altura, superficie) como en el anterior indicador I_j . Se trata de una variable que recoge de manera difusa la estimación por parte del técnico de la probabilidad de desprendimiento. Dado el carácter categórico de la variable, se ha considerado adecuado clasificar la medida de la probabilidad de desprendimiento en base a 5 grados diferentes: muy bajo ($y = 0$), bajo ($y = 1$), medio ($y = 2$), alto ($y = 3$) y muy alto ($y = 4$).

Esta medida y_j es consecuencia de la identificación de unos ciertos síntomas identificables en la fachada. En el apartado siguiente se desarrolla un estudio estadístico con el objetivo de caracterizar cuáles son estos síntomas y la relación de los mismos con la asignación de medida de la probabilidad por parte de los técnicos. El disponer de los síntomas y de la relación nos permitirá un cálculo automático de la medida de probabilidad de desprendimiento reduciendo al máximo la variabilidad entre técnicos.

6.3.4.1. Análisis multivariante para la estimación del valor y_j

Para la estimación de los valores y_j a partir de síntomas identificables en la fachada se lleva a cabo un análisis multivariante con datos procedentes de una muestra de imágenes de zonas de fachadas, con distintos niveles de degradación y representativa de la población de estudio. Para cada imagen se dispone de su correspondiente sintomatología y se asigna la medida de probabilidad de desprendimiento a partir del valor medio de asignación directa por parte de un equipo de expertos.

Para la respuesta y_j se estima el modelo multivariante más adecuado, usando como predictor la sintomatología de la fachada. A efectos de facilitar la notación en la metodología estadística, en lo que sigue se omitirá el subíndice j , siendo y nuestra variable de interés, sobreentendiéndose por omisión la zona j de la fachada. La ecuación de regresión resultante permitirá estimar la medida de probabilidad a partir de los síntomas observados, y reducir la variabilidad entre técnicos. La *Figura 6.6* muestra un esquema de la referida metodología.

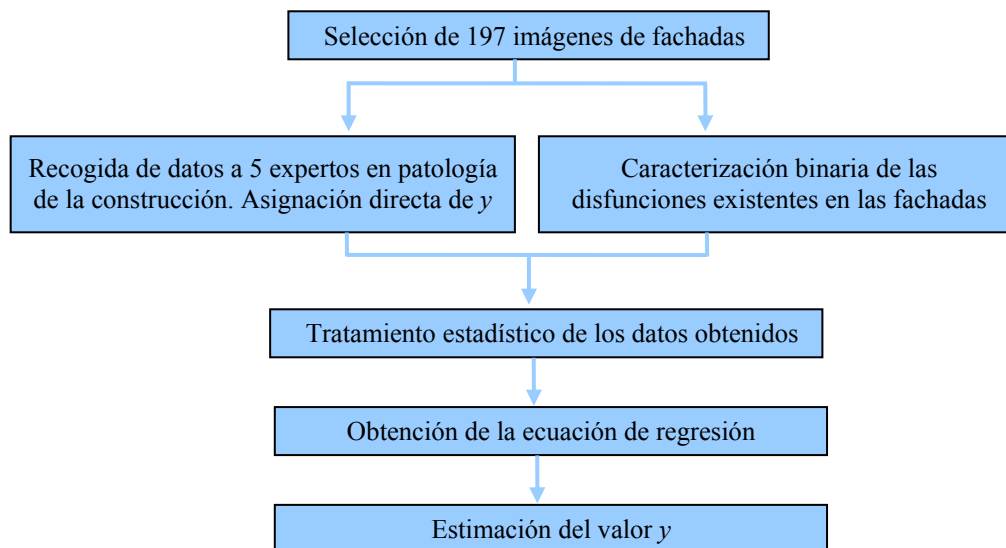


Figura 6.6. Esquema de la metodología para determinar el valor y

A continuación se explican cada uno de los pasos que componen la referida metodología.

SELECCIÓN DE IMÁGENES DE FACHADAS

En cada una de las imágenes de fachadas seleccionadas se ha delimitado una zona concreta que es la que el experto debe evaluar respecto a la probabilidad de desprendimiento. Los criterios de selección de imágenes han sido los siguientes:

1. Las imágenes seleccionadas abarquen una amplia variabilidad con objeto de que el análisis estadístico sea lo más representativo posible. Dicha variabilidad lo es por un lado desde el punto de vista de la probabilidad de desprendimiento, habiendo desde zonas de fachadas seleccionadas en perfecto estado de conservación, con muy bajo riesgo de desprendimiento ($y = 0$), a zonas de fachadas extremadamente degradadas con muy alto riesgo de desprendimiento ($y = 4$), pasando por los casos intermedios ($0 < y < 4$). La variabilidad de las imágenes seleccionadas también lo es desde el punto de vista constructivo y de materiales, habiendo revestimientos de aplacado, voladizos, cornisas, elementos ornamentales, revestimientos de mortero, material base de fachada, etc., con variabilidad de materiales.
2. El número de imágenes seleccionadas sea suficientemente elevado para su adecuado análisis estadístico. Con objeto de que el análisis estadístico sea lo más

balanceado posible se han seleccionado similar número de imágenes para cada valor de y (aproximadamente 40 imágenes para cada valor de y). En concreto el tamaño muestral del conjunto es de 197 imágenes.

En la *Figura 6.7* se muestran, a modo de ejemplo, algunas de las imágenes seleccionadas de fachadas, con las delimitaciones de las zonas sobre las cuales los 5 expertos debían evaluar el valor de y respecto a la probabilidad de desprendimiento.



Figura 6.7. Seis ejemplos de las 197 imágenes del ensayo

RECOGIDA DE DATOS A 5 EXPERTOS EN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

El siguiente paso metodológico consistió en realizar una encuesta a 5 expertos, de manera que los mismos debían valorar la probabilidad de desprendimiento de cada una de las zonas delimitadas de las 197 imágenes, asignando el valor de y que consideraran adecuado en cada caso. Las condiciones del ensayo fueron las siguientes:

- Las imágenes se reordenaron de forma aleatoria usando el generador de números pseudoaleatorios de Minitab, y distribuidas en el mismo orden al conjunto de expertos.
- Los expertos no eran conocedores del carácter balanceado de la muestra con el fin de no condicionar los resultados.

- La única información sobre sintomatología de la que disponían los expertos era la derivada de la imagen.
- No se daba limitación de tiempo para rellenar el cuestionario.

Los cinco expertos, de gran prestigio y reconocimiento profesional en este campo, que participaron en este ensayo fueron: Antonio Aguado, Vicente Alegre, Xavier Casanovas, César Díaz y Vicenç Gibert. También se ha considerado como aspecto positivo el que entre estos cinco expertos haya tres titulaciones diferentes, que son arquitecto, arquitecto técnico (o ingeniero de edificación) e ingeniero de caminos.

El tiempo medio de realización del cuestionario fue de 40 minutos. En la *Tabla 6.3* se muestra un ejemplo de los valores asignados para las 10 primeras imágenes. En dicha tabla, la columna ID corresponde a la identificación de las imágenes de las fachadas, y en la columna T0 están los valores de y asignados por el doctorando. En aras a la pureza metodológica, se ha considerado adecuado que dichos valores no se tengan en cuenta para el cálculo de los valores promedio de y de cada imagen.

ID	valoración expertos						media y_{m1} (de T1 a T5)	media y_{m2} (de T0 a T5)
	T0	T1	T2	T3	T4	T5		
1	3	3	3	3	4	4	3,4	3,3
2	1	1	1	0	2	1	1,0	1,0
3	2	2	3	2	2	2	2,2	2,2
4	4	4	4	4	4	4	4,0	4,0
5	1	2	3	0	0	3	1,6	1,5
6	1	1	2	1	1	0	1,0	1,0
7	3	3	4	4	3	3	3,4	3,3
8	3	4	4	3	4	3	3,6	3,5
9	3	4	4	4	4	3	3,8	3,7
10	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0

Tabla 6.3. Valoración de los expertos para las 10 primeras imágenes de fachadas

Así, los valores que se han considerado para los posteriores pasos del método son los que en la tabla aparecen como y_{m1} , que engloban los valores de las columnas T1 a T5, que corresponden a los valores de y asignados por los 5 expertos referidos. De todas maneras se verifica que dichos valores y_{m1} apenas varían de los promedios incluyendo las valoraciones del doctorando, que en la tabla aparecen como y_{m2} . Análogamente, los valores y_{m1} varían poco respecto a los valores asignados por el doctorando (que aparecen en la columna T0).

En la *Tabla 6.4* se presentan los principales datos estadísticos globales (de resumen y de distribución) de la valoración de los expertos, donde N es el número de imágenes valoradas, y Q1 y Q3 son el primer y tercer cuartil respectivamente. Se observa en dicha tabla que las medias aritméticas de los valores asignados por los 5 expertos (T1 a T5) son

de un orden de magnitud similar. El experto T4 es el que tiene la media aritmética mayor (2,665) y la menor desviación estándar (1,457). Un análisis boxplot de los datos permite concluir que no hay ningún experto que aporte datos anómalos en el conjunto de la distribución. Respecto al doctorando (T0) se observa que su media aritmética es la menor de las seis, es decir que los cinco expertos han sobreestimado ligeramente respecto a los valores asignados por el doctorando. Respecto a las desviaciones estándar de los valores asignados por los expertos se observa nuevamente que son de un orden de magnitud similar. En este caso el experto T5 es el que tiene la desviación estándar mayor (1,775).

Experto	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
T0	197	2,056	1,422	0,000	1,000	2,000	3,000	4,000
T1	197	2,112	1,491	0,000	1,000	2,000	4,000	4,000
T2	197	2,325	1,599	0,000	1,000	3,000	4,000	4,000
T3	197	2,310	1,512	0,000	1,000	3,000	4,000	4,000
T4	197	2,665	1,457	0,000	2,000	3,000	4,000	4,000
T5	197	2,198	1,775	0,000	0,000	3,000	4,000	4,000

Tabla 6.4. Datos estadísticos de la valoración de los expertos

En la Tabla 6.5 y en la Figura 6.8 se presentan, de forma numérica y gráfica respectivamente, los datos con más detalle, mostrando los resultados estadísticos de la Tabla 6.4 estratificados respecto los valores de referencia o patrón (T0). Se observa nuevamente que no hay una gran diferencia entre los valores asignados por los expertos, ni entre estos valores y los asignados por el doctorando (T0).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO COMPARATIVO DE LOS DATOS RECOGIDOS

Con objeto de analizar si existen diferencias significativas entre las valoraciones de los expertos y los valores de referencia se ha llevado a cabo un análisis de la varianza ANOVA (Johnson y Wichern, 2002) de uno y de dos factores para las medias aritméticas observadas en las variables categóricas “valor de referencia” y “experto”. Se trata de determinar si las diferencias observadas (Dif) están sujetas a un efecto “valor de referencia” y/o a un efecto “experto”. Los resultados de los análisis ANOVA de una y dos vías para las mencionadas variables, así como los respectivos *boxplots* se muestran en la Figura 6.9 y en la Figura 6.10, respectivamente.

Si decidimos a un nivel de significación de 0,01 vemos que no existe ni efecto “valor de referencia” ($p\text{-value} = 0,011 > 0,01$), ni efecto “experto” ($p\text{-value} = 0,118 > 0,01$). De manera análoga, los porcentajes de explicación del modelo son bajos (46,68% y 29,66%, respectivamente), en concordancia con los solapamientos existentes por un lado entre los intervalos de confianza al 99% para las respectivas medias (Figura 6.9), y por otro lado, los solapamientos entre los *boxplots* asociados (Figura 6.10a y Figura 6.10b). Así pues concluimos que las diferencias entre los valores de los expertos respecto a los respectivos valores de referencia son: 1) independientes de los propios valores de referencia y 2) independientes de los propios expertos.

Sin embargo es de destacar la existencia de un efecto de la interacción entre la variable “valor de referencia” y la variable “experto” (*Figura 6.9c*); interacción que explica el 76,34% de la variabilidad respecto a los valores de referencia o patrón. En otros términos, se puede decir que existe una sensibilidad individual de los expertos asociada al nivel subyacente de probabilidad de desprendimiento. Esta sensibilidad se evidencia en las observaciones en el valor de referencia 2, el experto T4, y más concretamente las observaciones en el valor de referencia 2 del experto T4 (*Figura 6.9*).

Experto	T0	N	Media	Desv. Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
T1	0	39	0,179	0,389	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
	1	36	1,139	0,723	0,000	1,000	1,000	2,000	3,000
	2	37	2,297	0,968	1,000	2,000	2,000	3,000	4,000
	3	45	3,000	1,044	0,000	2,000	3,000	4,000	4,000
	4	40	3,700	0,564	2,000	3,250	4,000	4,000	4,000
T2	0	39	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	1	36	1,222	0,898	0,000	1,000	1,000	2,000	3,000
	2	37	2,595	0,896	0,000	2,000	3,000	3,000	4,000
	3	45	3,622	0,490	3,000	3,000	4,000	4,000	4,000
	4	40	3,875	0,335	3,000	4,000	4,000	4,000	4,000
T3	0	39	0,179	0,451	0,000	0,000	0,000	0,000	2,000
	1	36	1,222	0,832	0,000	1,000	2,000	2,000	3,000
	2	37	2,568	0,689	1,000	2,000	3,000	3,000	4,000
	3	45	3,511	0,626	2,000	3,000	4,000	4,000	4,000
	4	40	3,775	0,480	2,000	4,000	4,000	4,000	4,000
T4	0	39	0,513	0,756	0,000	0,000	0,000	1,000	2,000
	1	36	1,778	0,929	0,000	1,000	2,000	2,000	3,000
	2	37	3,108	0,699	1,000	3,000	3,000	4,000	4,000
	3	45	3,689	0,514	2,000	3,000	4,000	4,000	4,000
	4	40	4,000	0,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
T5	0	39	0,051	0,320	0,000	0,000	0,000	0,000	2,000
	1	36	0,722	0,944	0,000	0,000	0,500	1,000	4,000
	2	37	2,135	1,437	0,000	1,000	2,000	3,500	4,000
	3	45	3,756	0,645	1,000	4,000	4,000	4,000	4,000
	4	40	3,925	0,267	3,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Tabla 6.5. Datos estadísticos de la valoración de los expertos respecto los valores de referencia o patrón (T0)

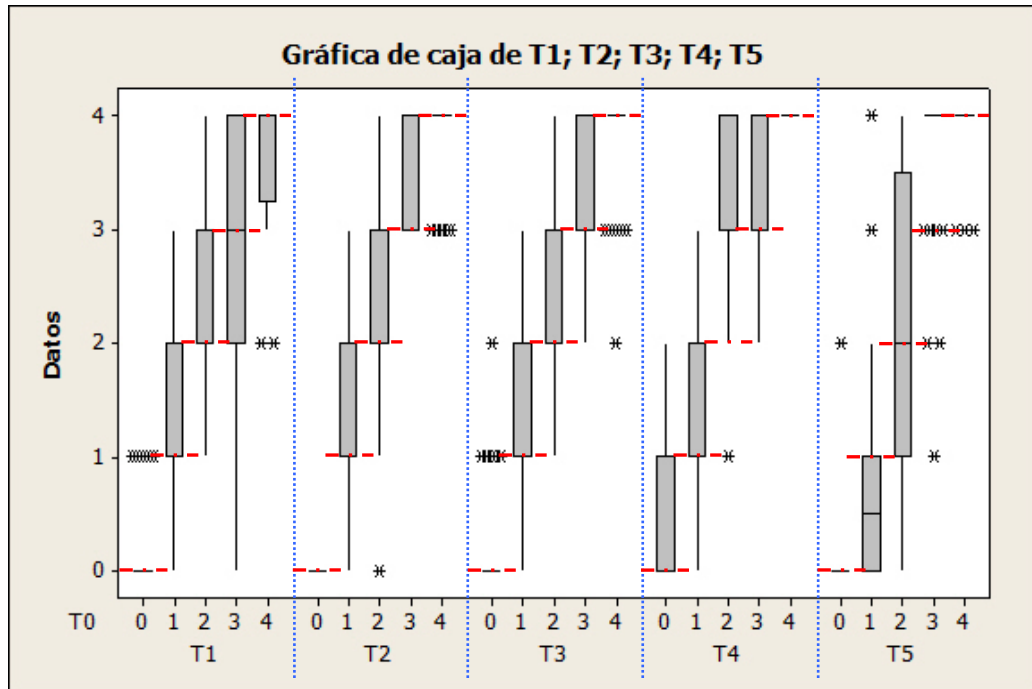


Figura 6.8. Gráfica de caja (Boxplot) de los datos estadísticos de la valoración de los expertos respecto los valores de referencia o patrón (T0)

No obstante, dado que el tamaño muestral total es reducido (25 medias aritméticas) decidimos aplicar también un enfoque no paramétrico, para la comparación de medianas, con objeto de dar más robustez al análisis. Para ello utilizamos el Test de Friedman (Coddington, 1979), adecuado para datos categóricos y ordinales. La Figura 6.11 ilustra los resultados obtenidos de aplicar el Test de Friedman para evaluar en términos de medianas las diferencias entre los valores asignados por los expertos respecto de los valores de referencia o patrón. Los resultados validan la no significación de las diferencias ($p = 0,050 < 0,01$), y dan soporte a las conclusiones de independencia citadas en el párrafo anterior. Con todo, se puede apreciar nuevamente una contribución mayor del experto 4, aunque no significativa, en la evaluación de las diferencias.

En conclusión, los análisis previos permiten validar: 1) la correcta asignación de los valores de referencia o patrón y 2) la representatividad de los valores medios de respuesta de los expertos como evaluación del indicador de probabilidad de desprendimiento.

(a) One-way ANOVA: Dif versus Ref

Source	DF	SS	MS	F	P
Ref	4	1,5295	0,3824	4,38	0,011
Error	20	1,7473	0,0874		
Total	24	3,2769			

S = 0,2956 **R-Sq = 46,68%** R-Sq(adj) = 36,01%

Individual 99% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI
0	5	0,1844	0,1999	(-----*-----)
1	5	0,2166	0,3761	(-----*-----)
2	5	0,5226	0,3872	(-----*-----)
3	5	0,5156	0,3021	(-----*-----)
4	5	-0,1450	0,1191	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
-0,40 0,00 0,40 0,80

Pooled StDev = 0,2956

(b) One-way ANOVA: Dif versus Expert

Source	DF	SS	MS	F	P
Expert	4	0,972	0,243	2,11	0,118
Error	20	2,305	0,115		
Total	24	3,277			

S = 0,3395 **R-Sq = 29,66%** R-Sq(adj) = 15,60%

Individual 99% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	CI
1	5	0,0450	0,2086	(-----*-----)
2	5	0,2628	0,3393	(-----*-----)
3	5	0,2510	0,3165	(-----*-----)
4	5	0,6176	0,4073	(-----*-----)
5	5	0,1178	0,3892	(-----*-----)

+-----+-----+-----+-----+-----
-0,40 0,00 0,40 0,80

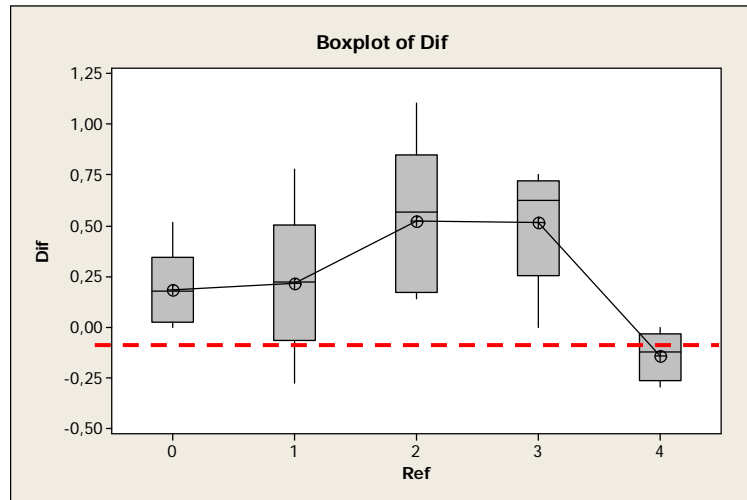
Pooled StDev = 0,3395

(c) Two-way ANOVA: Dif versus Ref; Expert

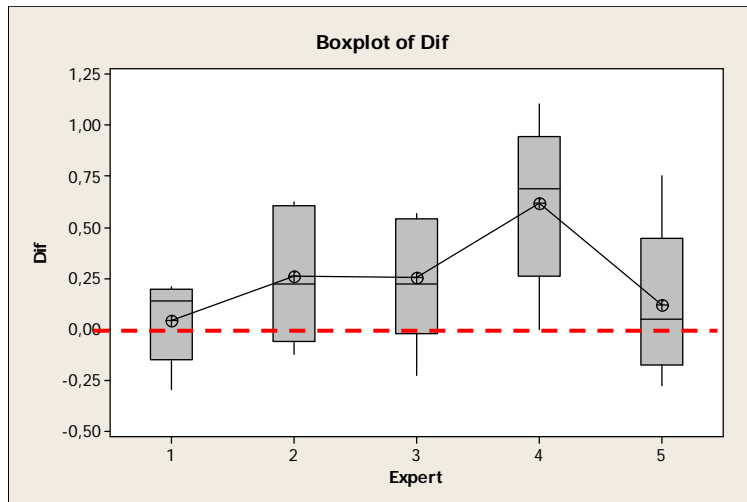
Source	DF	SS	MS	F	P
Ref	4	1,52954	0,382384	7,89	0,001
Expert	4	0,97203	0,243007	5,01	0,008
Error	16	0,77531	0,048457		
Total	24	3,27688			

S = 0,2201 **R-Sq = 76,34%** R-Sq(adj) = 64,51%

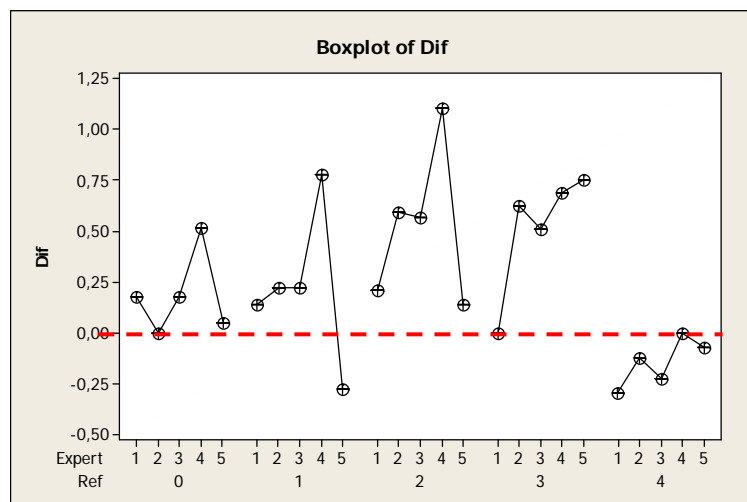
Figura 6.9. Resultados a partir del análisis de la varianza de una vía (a, b) y del análisis de la varianza de dos vías (c)



(a)



(b)



(c)

Figura 6.10. Gráficas de caja (Boxplot) de las diferencias de las medias de los valores asignados por los expertos respecto los valores de referencia

Friedman Test: Dif versus Expert blocked by Ref				
S = 9,32 DF = 4 P = 0,054				
S = 9,51 DF = 4 P = 0,050 (adjusted for ties)				
				Sum of
Expert	N	Est	Median	Ranks
1	5		0,1292	9,5
2	5		0,2220	14,5
3	5		0,2642	14,0
4	5		0,6838	24,0
5	5		0,1718	13,0
Grand median = 0,2942				

Figura 6.11. Resultados a partir del Test de Friedman

6.3.4.2. Identificación binaria de disfunciones en fachadas

Como se ha citado en la introducción de este apartado 6.4.4, el objetivo es reducir la variabilidad entre técnicos en la asignación de los valores y, a partir de la sintomatología de la fachada. En el presente subapartado se describen las variables y valores que recogen los síntomas en fachada.

Las disfunciones más habituales y representativas que puede tener una fachada son las siguientes:

- Humedad
- Oxidación de armaduras o elementos metálicos
- Despegue, materiales sueltos
- Grietas
- Vegetación
- Manchas, eflorescencias
- Pérdida de sección, erosión

Se propone la utilización de un sistema de asignación binaria con respecto a estas disfunciones, con el siguiente criterio:

- 0 significa la no existencia de la disfunción
- 1 significa la existencia de la disfunción

De forma complementaria para aquellas disfunciones más ligadas a la probabilidad de desprendimiento, se ha considerado conveniente recoger también el grado de gravedad de la disfunción. Para ello se han definido de forma binaria variables auxiliares para las disfunciones humedad, despegue y grietas. La *Tabla 6.6* muestra, a modo de ejemplo, los datos para las 10 primeras imágenes, donde las columnas significan: identificación de cada una de las imágenes (ID); humedad (HUM); humedad grave (HUM.G); oxidación (OXI); despegue (DES); despegue grave (DES.G); grieta (GRI); grieta grave (GRI.G); vegetación (VEG); manchas (MAN); erosión (ERO); valor de y promedio asignado por los 5 expertos (y).

ID	HUM X_1	HUM.G X_2	OXI X_3	DES X_4	DES.G X_5	GRI X_6	GRI.G X_7	VEG X_8	MAN X_9	ERO X_{10}	Y
1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	3,4
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1,0
3	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2,2
4	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	4,0
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1,6
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1,0
7	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3,4
8	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	3,6
9	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	3,8
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0

Tabla 6.6. Datos de disfunciones y asignación media de expertos para las 10 primeras imágenes

6.3.4.3. Modelo de regresión para la estimación de y

Con el objeto de estimar la variable y a partir de las disfunciones se plantea el siguiente modelo de regresión lineal multivariante (Montgomery *et al.*, 2012).

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^{10} \beta_j \cdot x_{ji} + \varepsilon_i \quad \text{con} \quad \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2), \quad (6.7)$$

para $i = 1, \dots, 197$, donde,

- y_i = es la variable a explicar, dependiente o regresando, en este caso la variable asociada a la probabilidad de desprendimiento medida sobre el individuo (imagen) i -ésimo, resultante de la media de las valoraciones de los expertos, con distribución normal en cada uno de los valores de referencia o patrón.
- β_0 = término independiente
- β_j = coeficiente correspondiente a la disfunción j -ésima, que mide la influencia que tiene dicha disfunción en la medida de la probabilidad de desprendimiento
- x_{ji} = variable explicativa, en este caso el valor binario correspondiente a la disfunción j -ésima medida sobre el individuo (imagen) i -ésimo
- ε_i = término de error aleatorio del modelo de regresión (independientes y normalmente distribuidos)

Con el programa estadístico Minitab se ha estimado el mejor modelo de regresión lineal multivariante, que permite ajustar los datos disponibles y obtener inferencias para los valores de probabilidad de desprendimiento, categorizadas en la variable objetivo y . Para la

selección del modelo se ha utilizado la opción *Best Subsets* (mejores subconjuntos). Best Subsets es una estrategia de decisión en análisis de regresión, basada en la comparación de todos los modelos posibles que se pueden crear en base a un conjunto dado de predictores.

Las variables independientes o predictores posibles en el modelo lineal final son las presentadas en la *Tabla 6.6*: HUM, HUM.G, OXI, DES, DES.G, GRI, GRI.G, VEG, MAN y ERO. Con todo, modelos de regresión preliminares sugieren la inclusión de la variable que recoge la interacción entre la existencia de despegues y grietas. El sentido de esta variable es recoger el efecto sobre la probabilidad de desprendimiento de la presencia simultánea de despegues y grietas. La interacción queda denotada por DES*GRI (que toma el valor 1 sólo cuando hay presencia de ambas disfunciones).

La *Figura 6.12* presenta los estadísticos resultado de la estimación de los mejores dos modelos con un número determinado de variables entre los predictores citados, donde:

- Vars: número de variables en el modelo

- R-cuad. ($R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$): proporción en porcentaje de variabilidad en los datos

explicada por el modelo, donde \hat{y}_i es el valor estimado por el modelo para el individuo *i-ésimo* e \bar{y} es la media de los datos

- R-cuad. (ajustado) ($R_{adj}^2 = 1 - (1 - R^2) \cdot \frac{n-1}{n-(k+1)}$): proporción en porcentaje de variabilidad en los datos explicada por el modelo penalizada por el número de variables (*k*) en el modelo
- Cp de Mallows: medida del sesgo en la estimación de los coeficientes de regresión (Mallows, 1973).
- S: varianza de los residuos ($S = \frac{1}{n-(k+1)} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$)
- Variables explicativas en el estudio. El signo “X” denota la inclusión en el modelo

Vars	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	Cp de Hallows	S	D E S *									
					H	H	O	D	D	G	G	V	M	E
					U	X	E	E	R	R	E	A	R	R
					M	H	I	S	S	I	I	G	N	O
1	59,3	59,1	274,6	0,92824										
1	38,7	38,4	510,9	1,1388										X
2	72,5	72,2	125,2	0,76521					X	X				
2	65,2	64,9	208,2	0,85989					X		X			
3	78,0	77,7	63,7	0,68583					X	X				X
3	75,6	75,3	90,8	0,72175					X	X	X			
4	80,7	80,3	34,2	0,64343					X	X	X			X
4	79,8	79,4	45,0	0,65883					X	X	X			X
5	82,4	81,9	17,4	0,61708					X	X	X	X		X
5	81,7	81,2	24,8	0,62827	X				X	X	X			X
6	83,4	82,9	7,8	0,60068	X				X	X	X	X		X
6	82,9	82,4	13,4	0,60942					X	X	X	X	X	X
7	83,5	82,9	8,1	0,59956	X				X	X	X	X		X
7	83,5	82,9	8,1	0,59961	X				X	X	X	X	X	X
8	83,7	83,0	8,3	0,59835	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	83,7	83,0	8,5	0,59867	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	83,8	83,0	8,8	0,59754	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	83,8	83,0	9,6	0,59876	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	83,9	83,0	10,2	0,59818	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	83,8	83,0	10,8	0,59904	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	83,9	82,9	12,0	0,59942	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Figura 6.12. Resumen de estadísticos para la selección del modelo y modelo propuesto (en recuadro)

Para la selección del modelo inicial a ajustar se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- Maximizar R_{adj}^2 , con el fin de obtener la máxima explicabilidad del modelo con el menor número de variables (simplicidad en el modelo o principio de parsimonia en estadística).
- Minimizar S con el fin de conseguir homogeneidad entre los residuos.
- Cp próximo a Vars + 1 dado que Cp = Vars + 1 indica ausencia de sesgo en la estimación de los valores de regresión.

De acuerdo con estos criterios, como se puede observar en la *Figura 6.12*, el modelo que más se ajusta a los datos, que denominamos M1, es el formado por los siguientes ocho indicadores: HUM, DES, DES.G, GRI, GRI.G, MAN, ERO, DES*GRI.

La estimación de coeficientes de M1, así como la variabilidad de los estimadores de los parámetros se muestra en la *Figura 6.13*. Como puede comprobarse, si bien el modelo M1 tiene una alta explicación de la variabilidad (83,0%), hay dos variables cuyo coeficiente en el modelo no es significativamente distinto de cero. Se trata de las variables MAN y ERO (en la *Figura 6.13* delimitadas en cuadro de color rojo; p-valor > 0,05). Con el objeto de obtener un modelo con solo variables significativas, y con el mismo criterio de

selección, escogemos en la *Figura 6.12* el siguiente candidato que es el modelo, M2, formado por las seis variables HUM, DES, DES.G, GRI, GRI.G y DES*GRI. Los resultados de la estimación del modelo M2 se presentan en la *Figura 6.14*.

$$y = 0,211 + 0,351 \text{ HUM} + 2,64 \text{ DES} + 0,605 \text{ DES.G} + 1,60 \text{ GRI} + 0,652 \text{ GRI.G} + 0,125 \text{ MAN} + 0,225 \text{ ERO} - 1,44 \text{ DES*GRI}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	0,2110	0,1004	2,10	0,037
HUM	0,3513	0,1288	2,73	0,007
DES	2,6362	0,1775	14,85	0,000
DES.G	0,6054	0,1351	4,48	0,000
GRI	1,5989	0,1190	13,44	0,000
GRI.G	0,6518	0,1200	5,43	0,000
MAN	0,12528	0,09386	1,33	0,184
ERO	0,2252	0,1679	1,34	0,182
DES*GRI	-1,4388	0,1942	-7,41	0,000

Coef = coeficiente

SE Coef = estándar error del coeficiente

T = Coef/SE Coef, t-Student

P = p-valor

$$S = 0,598347 \quad R\text{-cuad.} = 83,7\% \quad R\text{-cuad. (ajustado)} = 83,0\%$$

Figura 6.13. Estimaciones de los parámetros en el modelo M1, variabilidad y significación de los parámetros

$$y = 0,268 + 0,409 \text{ HUM} + 2,68 \text{ DES} + 0,586 \text{ G.DES} + 1,60 \text{ GRI} + 0,658 \text{ G.GRI} - 1,46 \text{ DES*GRI}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	0,26776	0,09164	2,92	0,004
HUM	0,4092	0,1203	3,40	0,001
DES	2,6803	0,1732	15,47	0,000
DES.G	0,5860	0,1346	4,35	0,000
GRI	1,5952	0,1185	13,46	0,000
GRI.G	0,6583	0,1193	5,52	0,000
DES*GRI	-1,4615	0,1919	-7,62	0,000

Coef = coeficiente

SE Coef = estándar error del coeficiente

T = Coef/SE Coef, t-Student

P = p-valor

$$S = 0,600676 \quad R\text{-cuad.} = 83,4\% \quad R\text{-cuad. (ajustado)} = 82,9\%$$

Figura 6.14. Estimaciones de los parámetros en el modelo M2, variabilidad y significación de los parámetros

Como se puede comprobar en la *Figura 6.14*, todas las variables del modelo M2 son altamente significativas ($p\text{-valor} < 0,001$). Un análisis de la varianza de los residuos permite también concluir la bondad del modelo M2 y, de forma global, su alta significación. Por último, la *Figura 6.15* muestra la validación del modelo en cuanto al análisis de residuos con el fin de ilustrar las hipótesis de normalidad e independencia.

Por lo tanto el modelo basado en las disfunciones observadas y que permite reducir la variabilidad entre técnicos es el siguiente:

$$\hat{y} = 0,268 + 0,409 \text{ HUM} + 2,68 \text{ DES} + 0,586 \text{ G.DES} + 1,60 \text{ GRI} + 0,658 \text{ G.GRI} - 1,46 \text{ DES*GRI} \quad (6.8)$$

El modelo recoge la presencia, y gravedad si cabe, de humedades, despegues y grietas. Es importante destacar la contribución de la presencia de despegues (+2,68) y de grietas (+1,60), más aún en el caso de ser graves (+0,586 y +0,658, respectivamente).

Nótese, también, el efecto compensador de la presencia simultánea de despegues y grietas (-1,46).

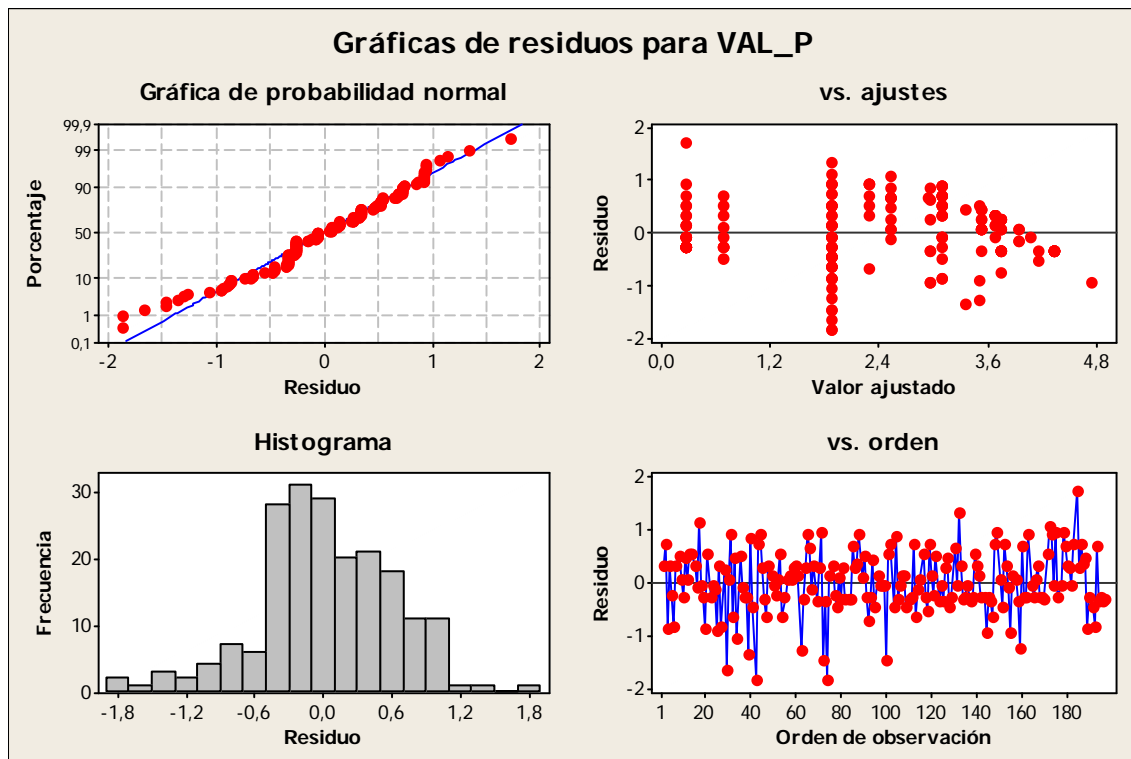


Figura 6.15. Gráficas de residuos (test de normalidad, nube de puntos según valores predichos, histograma, nube de puntos según orden de observación)

Como ilustración de que el modelo M2 en la ecuación (6.8) da respuesta coherente, en términos constructivos, al rango de valores de la escala propuesta, en la *Tabla 6.7* se muestran los valores estimados por el modelo para los distintos escenarios de disfunciones observadas, y sus respectivos valores cualitativos.

A modo de conclusión y procedimiento, las calificaciones del valor y de la medida de la probabilidad de desprendimiento en esencia recogen las siguientes configuraciones de sintomatología:

- Muy bajo: Tal y como es razonable, para obtener esta calificación no debe existir ninguna disfunción.
- Bajo: Deben existir únicamente humedades.
- Medio: Debe existir grietas, o la combinación de éstas con humedades.
- Alto: Existen varias combinaciones posibles que muestra la *Tabla 6.7* en el tramo coloreado marrón claro. Como se aprecia, sólo la presencia de despegues o de grietas graves es suficiente para obtener esta calificación.

- Muy alto: Existen también varias combinaciones posibles. En el tramo coloreado rosa oscuro podemos ver el despegue grave, o el despegue con grieta grave caracterizan esta calificación.

$Y = 0,268 + 0,409 \text{ HUM} + 2,68 \text{ DES} + 0,586 \text{ G.DES} + 1,60 \text{ GRI} + 0,658 \text{ G.GRI} - 1,46 \text{ DES} * \text{GRI}$								
escenario	HUM	DES	G.DES	GRI	G.GRI	DES*GRI	\hat{y}	calificación
1	0	0	0	0	0	0	0,27	muy bajo
2	1	0	0	0	0	0	0,68	bajo
3	0	0	0	1	0	0	1,87	medio
4	1	0	0	1	0	0	2,28	medio
5	0	0	0	1	1	0	2,53	alto
6	1	0	0	1	1	0	2,94	alto
7	0	1	0	0	0	0	2,95	alto
8	0	1	0	1	0	1	3,09	alto
9	1	1	0	0	0	0	3,36	alto
10	1	1	0	1	0	1	3,50	alto
11	0	1	1	0	0	0	3,53	muy alto
12	0	1	1	1	0	1	3,67	muy alto
13	0	1	0	1	1	1	3,75	muy alto
14	1	1	1	0	0	0	3,94	muy alto
15	1	1	1	1	0	1	4,08	muy alto
16	1	1	0	1	1	1	4,16	muy alto
17	0	1	1	1	1	1	4,33	muy alto
18	1	1	1	1	1	1	4,74	muy alto

Tabla 6.7. Valores estimados por el modelo para los distintos escenarios de disfunciones observadas, ordenados por la y estimada, \hat{y}

6.3.4.4. Obtención del indicador, I_j , de medida de la probabilidad de desprendimiento a partir de la estimación del valor y_j

La función a utilizar es análoga a la de la sigmoide del indicador de impacto I_j y responde a la siguiente configuración de parámetros:

$$y_{\min} = 0, y_{\max} = 4, y_i = 2, \alpha = 3,$$

como se ilustra en la *Figura 6.16*.

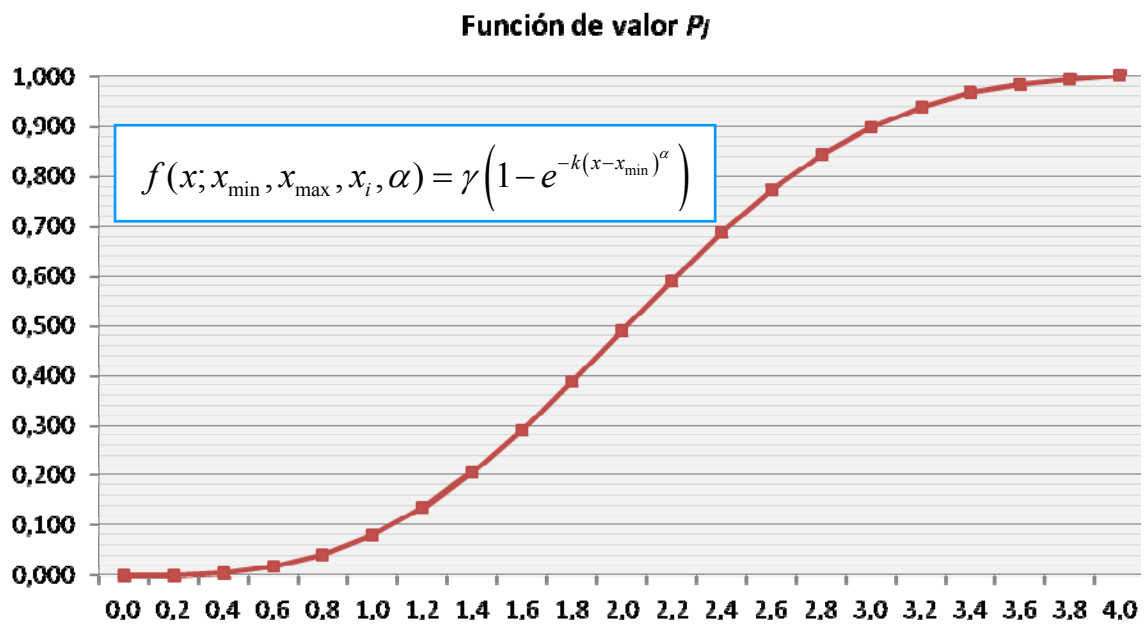


Figura 6.16. Función de valor P_j para la probabilidad de desprendimiento

Esta gráfica describe más una tendencia en forma de “S”, que la correspondiente a I_j , dado que al tratarse de probabilidad, el incremento de los valores P_j es más acentuado para valores medios de y_j , lo que se consigue con el valor $\alpha = 3$.

6.3.5. Algoritmo de aplicación del método SEF

La metodología propuesta en los apartados anteriores se puede resumir en el siguiente algoritmo, aplicado para cada zona j de fachada delimitada en la parte gráfica del método:

1. Identificación de las características físicas (ver *Tabla 6.2*).
2. Cálculo de x_j , utilizando la expresión propuesta (6.3).
3. Cálculo de I_j , utilizando la sigmoide propuesta en la *Figura 6.6*.
4. Identificación de la sintomatología asociada.
5. Estimación de y_j , utilizando la expresión (6.8).
6. Cálculo de P_j , utilizando la sigmoide propuesta en la *Figura 6.17*.
7. Cálculo de G_j , utilizando la expresión (6.1).

6.4. APLICACIÓN PRÁCTICA DE SEF

6.4.1. Casos de estudio

Como parte final del capítulo, se realiza la aplicación práctica de la metodología propuesta SEF (sistema de evaluación de fachadas) a casos reales de edificios. Con el objetivo de incorporar un amplio abanico de casuísticas, tanto en tipologías constructivas como en tipos de disfunciones, el número total de edificios seleccionados e inspeccionados por el doctorando ha sido de 7. De esta manera hay edificios entre medianeras con una sola fachada principal, otros con 2 fachadas principales, y edificio aislado con 4 fachadas principales. El rango de edades de los edificios de la muestra varía desde 30 años a más de 2 siglos de antigüedad. Existen variedad de materiales como fábrica de ladrillo, tapia, piedra, hormigón armado, perfiles metálicos, etc. Hay variadas disfunciones, como pérdida de sección en fábrica de ladrillo, fracturas en voladizo de piedra, fenómenos de carbonatación del hormigón y corrosión de armaduras, despegue del revestimiento, pérdida de sección de la tapia, oxidación de perfiles metálicos, etc.

Con objeto de ilustrar la variedad de casuísticas de los casos de estudio seleccionados, en la *Figura 6.17* aparecen 14 imágenes de estos 7 casos, con 2 imágenes (a y b) de cada caso, la primera (a) corresponde a una vista general y la segunda (b) a una vista de detalle de alguna zona concreta de fachada. Análogamente, en la *Tabla 6.8* se presenta un resumen de las características de los casos de estudio seleccionados.

Con objeto de aligerar el cuerpo principal de la tesis, en la memoria se incluye uno de los casos (caso real 6 de la *Figura 6.17*) a modo de ejemplo. La totalidad de los 7 casos reales se presentan en el Anexo IV. Se ha elegido dicho caso real por ser el más simple de los 7 casos, siendo por otra parte suficiente para la comprensión práctica de la metodología propuesta. A continuación en la *Figura 6.18* se muestran algunas imágenes del caso real 6.



Figura 6.17. Catorce imágenes de los siete casos estudiados

Características	Valor	Caso de estudio
Número de fachadas*	1	1, 2 y 6
	2	3 y 4
	3	7
	4	5
Número de plantas	PB+1PP	2 y 6
	PB+2PP	1 y 4
	PB+4PP	3
	PB+5PP	7
	PB+6PP	5
Edad edificio	< 40	5 y 7
	40 a 90	1
	> 90	2, 3, 4 y 6
Material base fachada	Fábrica cerámica	1, 3, 4, 5 y 7
	Tapia	2, 4 y 6
	Mampostería	4
Tipo de disfunción	Deterioro revestimiento	1, 3, 4, 6 y 7
	Fracturación voladizo	1
	Licuefacción tapia	2
	Vegetación	2
	Oxidación perfiles metálicos	3
	Pérdida de sección en fábrica cerámica	4
	Carbonatación hormigón-oxid. armad.	5 y 7

Tabla 6.8.- Características de los casos estudiados

*no se incluyen fachadas posteriores, ya que las inspecciones se han realizado desde la vía pública



Figura 6.18. Imágenes del caso real 6

En la *Tabla 6.9* se muestra la ficha de inspección del caso real 6. A continuación se muestra en la *Figura 6.19* la representación gráfica de la fachada, con las delimitaciones de las zonas degradadas, siguiendo la numeración de la ficha de la *Tabla 6.9*.

El desarrollo de la parte numérica se confecciona a través de una hoja de cálculo donde están introducidas las diferentes expresiones matemáticas señaladas en los anteriores apartados. Esta hoja de cálculo tiene 5 pestañas, e incorporando los datos anteriormente referidos se obtienen los valores G_j .

DATOS GENERALES			
Municipio:	C.P.:	Fecha de inspección:	27-12-2010
Dirección:			
Técnico inspección: Félix Ruiz Gorrindo		Titulación: Arquitecto Técnico e Ingeniero	
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO			
Aislado:		Entre medianeras: sí	
DESCRIPCIÓN DE LA FACHADA (numerar la fachada, caso de haber más de una fachada)			
PARAMENTO (revestimiento y material base)			
Revestimiento continuo de mortero de cal, con acabado de pintura de color blanco. A nivel de PB el revestimiento es de mortero de cemento, posiblemente realizado posteriormente al anterior. El material base es de fábrica cerámica, de 15 cm de espesor.			
ABERTURAS			
La puerta de PB y las ventanas son de carpintería de madera, con persianas de librillo del mismo material. Los dinteles en PB están resueltos mediante arcos, mientras que en P1ª están formado por vigas de madera. El revestimiento de dinteles y jambas es el mismo que en resto de fachada.			
ELEMENTOS SALIENTES			
La losa del balcón de P1ª es de material pétreo, con el mismo tipo de revestimiento que el resto de la fachada. La cornisa superior es de material cerámico.			
ELEMENTOS SINGULARES			
Debajo de la cornisa hay dos aberturas circulares de ventilación.			
IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LAS LESIONES			
ID	LOCALIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
1	Coronación fachada	Faltan algunas piezas cerámicas de coronación	
2	Zona superior P1ª	Fisuras en el revestimiento	
3	Zona superior izquierda P1ª	Despegue pintura	
4	Lateral superior derecho P1ª	Grietas y despegue de revestimiento	
5	Zona central P1ª	Despegue pintura	
6	Zona izquierda P1ª	Despegue pintura	
7	Zona inferior central P1ª	Despegue pintura	
8	Dintel ventana PB	Fisuras en revestimiento	
9	Zona central PB	Despegue pintura	
10	Zona derecha PB	Despegue pintura	

Tabla 6.9. Ficha de inspección del caso real 6

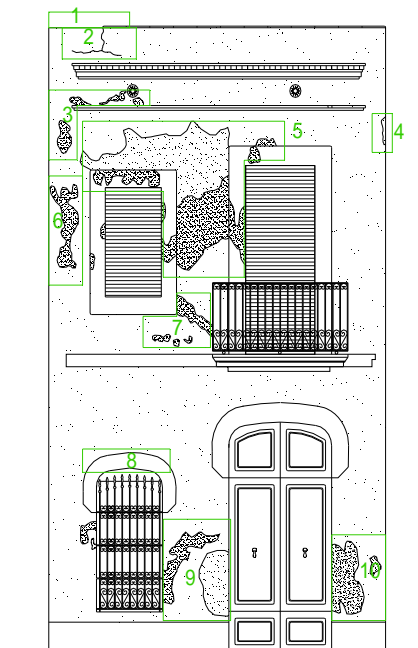


Figura 6.19. Representación gráfica de la fachada del caso real 6, con delimitación de las zonas degradadas

6.4.2. Cálculo del indicador de impacto I_j

En la primera hoja se realiza el cálculo del indicador de impacto, para lo cual se exporta la tabla confeccionada en el CAD (ver *Tabla 6.2*) a un archivo de cálculo. Una vez se han rellenado los campos referidos, el sistema calcula automáticamente el valor de x_j a través de la expresión (6.3). A partir de este valor se obtiene automáticamente en la segunda pestaña el valor del indicador de impacto I_j , ya que el sistema incorpora la función de valor correspondiente, a través de las expresiones (6.4, 6.5 y 6.6). En la *Tabla 6.10* y en la *Tabla 6.11* se visualizan los resultados obtenidos, donde los diferentes conceptos de la fila cabecera ya se han explicado en la *Tabla 6.2*.

ID	SUP.	MATER.	ESPEJOR	H_{cdg}	I_s	SUP. CORREG.	DENS. MATER.	x_j	I_j
1	0,24	PC-MC	0,015	8,10	0,5	0,12	2100	2.500,47	0,57
2	0,44	MCCA	0,020	7,80	1,0	0,44	1900	2.904,72	0,68
3	0,59	PP	0,002	6,87	0,5	0,30	1500	201,98	0,00
4	0,15	MCCA	0,020	6,65	1,0	0,15	1900	2.476,46	0,56
5	3,78	PP	0,002	6,01	0,5	1,89	1500	176,69	0,00
6	0,70	PP	0,002	5,40	0,5	0,35	1500	158,76	0,00
7	0,55	PP	0,002	4,19	0,5	0,28	1500	123,19	0,00
8	0,39	MCCA	0,040	2,45	1,0	0,39	1900	1.824,76	0,35
9	1,30	PP	0,002	1,05	0,75	0,98	1500	30,87	0,00
10	0,88	PP	0,002	0,95	0,5	0,44	1500	27,93	0,00

Tabla 6.10. Cálculo de I_j para el caso real 6

MATERIAL		DENSIDAD (Kg/m ³)
MCA	Mortero de cemento y arena	2.100
MCCA	Mortero de cemento, cal y arena	1.900
HM	Hormigón en masa	2.300
HA	Hormigón armado	2.400
PP	Pintura plástica	1.500
FC	Fábrica cerámica (con ladrillo macizo)	1.800
PN	Piedra natural (caliza)	2.700
TAP	Tapia	1.800

Tabla 6.11. Densidades utilizadas

6.4.3. Cálculo del indicador de probabilidad de desprendimiento P_j

En la tercera hoja de cálculo se calcula el indicador de la probabilidad de desprendimiento P_j . Tal y como ya se ha explicado en este capítulo, este indicador se calcula a partir de la existencia o inexistencia de determinadas disfunciones a las que se aplican unos pesos asignados. Para ello, y con la ayuda del reportaje fotográfico se introducen los valores binarios en las casillas correspondientes, con el criterio explicado en apartados anteriores:

- 0 significa la no existencia de la disfunción correspondiente
- 1 significa la existencia de la disfunción correspondiente

En la *Tabla 6.12* se visualizan los resultados obtenidos, donde los diferentes conceptos de la fila cabecera ya se han explicado en la *Tabla 6.6*. Como se ha visto, el valor y_j proviene de la expresión matemática (6.8) $y = 0,268 + 0,409 \text{ HUM} + 2,68 \text{ DES} + 0,586 \text{ G.DES} + 1,60 \text{ GRI} + 0,658 \text{ G.GRI} - 1,46 \text{ DES} \cdot \text{GRI}$. Seguidamente el sistema calcula automáticamente el valor correspondiente al indicador P_j determinado a partir de la función de valor asociada y que se ubica dentro de la cuarta hoja del archivo.

ID	HUM	DES	G.DES	GRI	G.GRI	DES*GRI	y_j	P_j
1	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
2	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
3	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96
4	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
5	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96
6	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96
7	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96
8	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
9	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96
10	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96

Tabla 6.12. Cálculo de P_j para el caso real 6

6.4.4. Cálculo de los valores G_j

El grado de gravedad de de la zona j de la fachada G_j se halla en base a la expresión (6.1), $G_j = 10 \cdot I_j \cdot P_j$.

ID	I_j	P_j	G_j
1	0,57	0,42	2,4
2	0,68	0,42	2,9
3	0,00	0,96	0,0
4	0,56	0,89	5,0
5	0,00	0,96	0,0
6	0,00	0,96	0,0
7	0,00	0,96	0,0
8	0,35	0,89	3,1
9	0,00	0,96	0,0
10	0,00	0,96	0,0

Tabla 6.13. Cálculo de G_j para el caso real 6

Es directo comprobar que los resultados obtenidos aplicando el método SEF en este caso real son razonables. Con todo, resulta de interés mencionar que respecto de los valores que se obtendrían aplicando el método de asignación directa propuesto en el Capítulo 4, SEF homogeneiza en algunos casos los valores muy cercanos a ambos extremos, por las características de las funciones de valor sigmoideas propuestas. Por ejemplo, algunas asignaciones directas con valor 1 –gravedad muy baja– con SEF pueden dar valor 0, y análogamente algunas asignaciones directas con valor 9 –gravedad muy alta– con SEF pueden dar valor 10.

6.4.5. Cálculo del grado de gravedad total de la fachada

Una vez calculados los valores G_j aplicando el método SEF, se ha considerado conveniente añadir el cálculo de la gravedad total de la fachada, según la metodología propuesta en el Capítulo 4 (Sección 4.6). En primer lugar se calcula la distribución de la gravedad del sistema, s (en este caso $s = 1$, fachadas) en base a la siguiente expresión:

$$G_d^{(s)} = (q_0^{(s)}, q_{0.25}^{(s)}, q_{0.50}^{(s)}, q_{0.75}^{(s)}, q_{1.00}^{(s)}) \quad (6.9)$$

Para el cálculo de los cuartiles, el primer paso consiste en ordenar de forma ascendente los valores G_j . Posteriormente se calcula el peso w_j (superficie o parte proporcional del elemento j (S_j) respecto de la superficie total (S_T) del sistema considerado) de cada uno de los valores G_j y finalmente se calculan los valores w_j acumulados.

En la *Tabla 6.14* se presenta un resumen de las superficies del caso real 6, que tiene por objeto mostrar la superficie que no ha sido delimitada por no estar degradada (superficie restante) y que por lo tanto le corresponde $G = 0$.

		Valor (m ²)	(%)
Superficie total	S_T	41	100
Superficie delimitada	$\sum_{j=1}^{10} S_j$	9,02	22,0
Superficie restante	$S_T - \sum_{j=1}^{10} S_j$	31,98	78,0

Tabla 6.14. Resumen de superficies para el caso real 6

Partiendo de los datos obtenidos en la *Tabla 6.14*, en la *Tabla 6.15* se realiza una ordenación ascendente de las filas a partir de los valores G_j y se calcula el sumatorio acumulado de los pesos w_j en la columna W_j . Para los casos con el mismo valor de G_j , se ordenan las filas de forma ascendente a partir de los valores S_j .

ID	G_j	S_j	w_j	W_j
zona restante	0	31,98	0,780000	0,780
7	0	0,55	0,013415	0,799
3	0	0,59	0,014390	0,814
6	0	0,70	0,017073	0,831
10	0	0,88	0,021463	0,852
9	0	1,30	0,031707	0,884
5	0	3,78	0,092195	0,976
1	2	0,24	0,005854	0,786
8	3	0,39	0,009512	0,986
2	3	0,44	0,010732	0,996
4	5	0,15	0,003659	1,000

Tabla 6.15. Cálculo de w_j acumulado, W_j , para el caso real 6 con valores de G_j ordenados de forma ascendente

Llegados a este punto se puede obtener $G_d = (q_0, q_{0.25}, q_{0.50}, q_{0.75}, q_{1.00})$, que en el caso real 6 tiene el valor $G_d = (0, 0, 0, 0, 5)$. Según el criterio establecido en las *Tablas 4.7* y *4.8*, en este caso el vector resultante indica que la prioridad de la intervención es moderada ($G_{\max} = 5$), y la extensión de la gravedad con G_{\max} es puntual $e(G_d^{(1)}, G_{\max} = 5) = q_{1.00}$.

Seguidamente se calcula la gravedad resultante del sistema, s (en este caso $s = 1$, fachadas) en base a la siguiente expresión:

$$G_r^{(s)} = \frac{q_0^{(s)} + 2q_{0.25}^{(s)} + 2q_{0.50}^{(s)} + 2q_{0.75}^{(s)} + q_{1.00}^{(s)}}{8} = \sum_{i=1}^4 \frac{m_i^{(s)}}{4} \quad (6.10)$$

Aplicando dicha expresión al vector $G_d = (0, 0, 0, 0, 5)$ se obtiene que $G_r^{(1)} = 0,62$.

Finalmente se calcula $G_r^{(s)}$ weighted ($G_{rw}^{(s)}$) en base a la siguiente expresión:

$$G_{rw}^{(s)} = \sum_{i=1}^4 w_i^{(s)} \cdot m_i^{(s)} \quad (6.11)$$

donde, $w_i^{(s)}$ = pesos relativos, bajo la condición que $\sum_{i=1}^4 w_i^{(s)} = 1$, y cuyos valores se han presentado en la expresión (4.16). Aplicando dichas expresiones al vector $G_d = (0, 0, 0, 0, 5)$ se obtiene que $G_{rw}^{(1)} = ((0 \cdot 0) + (0,10 \cdot 0) + (0,40 \cdot 0) + (0,50 \cdot 2,5)) = 1,25$. Es decir que $G_{rw}^{(1)} > G_r^{(1)}$, al priorizar en $G_{rw}^{(1)}$ los valores m_i mayores. Según las definiciones dadas en la *Tabla 4.5*, $G = 1,25$ está situado entre gravedad muy baja ($G = 1$; Primeros indicios de deterioros muy leves y superficiales. En caso de producirse algún desprendimiento este sería de entidad muy leve, como por ejemplo parte de capa de pintura) y gravedad muy baja-baja ($G = 2$; Deterioros muy leves y superficiales. Puede haber algunas zonas con deterioramiento superficial del revestimiento. En caso de producirse algún desprendimiento este sería de entidad leve, como por ejemplo parte de revestimiento de mortero o similar, de poco grosor y muy poca masa). Este valor es razonable para el caso real 6 tratado en esta sección, ya que si bien la fachada desde un punto de vista estético está degradada, en realidad en las zonas deterioradas tan sólo hay degradación de fina capa de pintura, por lo que es correcto que en base a las definiciones de la escala propuesta le corresponda un valor de G bajo.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

7.1. INTRODUCCIÓN

Durante el transcurso de esta tesis se han desarrollado diversas propuestas en el marco de la valoración del grado de gravedad de elementos constructivos en edificios. Dicha aportación combina elementos conceptuales de diferentes ámbitos de la ciencia, como son diagnóstico de patología de la construcción y matemáticas.

En este contexto, el objeto de este último capítulo es doble; por un lado sintetizar las conclusiones de la presente investigación (recogidas en conclusiones generales y conclusiones específicas) y, por otro lado, exponer futuras líneas de estudio, que son continuación natural de los trabajos de la presente tesis.

7.2. CONCLUSIONES GENERALES

En lo que sigue se presentan las conclusiones generales derivadas del presente trabajo:

- Las escalas de gravedad utilizadas son diferentes entre sí, tanto en el marco de las normas ITE como en general, mostrando la necesidad de disponer de una escala efectiva para valorar el grado de gravedad de los elementos constructivos, donde haya poca variabilidad entre los técnicos al aplicarla, y que permita priorizar correctamente las intervenciones.
- En la tesis se propone una escala general, mediante asignación directa de 11

niveles, para valorar el grado de gravedad de cualquier tipo de elemento constructivo en edificios. El objeto de la misma es facilitar la toma de decisiones y priorizar las intervenciones.

- A partir de la escala general, se propone un método de cálculo para determinar el grado de gravedad del conjunto del edificio. El método combina y pondera los grados de gravedad de los elementos constructivos que componen el edificio.
- Para la validación de la escala propuesta se ha llevado a cabo una campaña de contrastación estadística, con un tamaño muestral de 374 técnicos. A través del análisis estadístico de los datos obtenidos, se ha determinado que 5 es el número óptimo de grados de gravedad para la escala en el caso de asignación directa.
- Como alternativa a las escalas propuestas con anterioridad y como una evolución natural de las mismas, para el tipo de elemento estructural de fachadas, se propone el Sistema de Evaluación de Fachadas (SEF), basado en indicadores calculados a partir de variables medibles o estimables como, por ejemplo, la energía de impacto del objeto que se puede desprender y la probabilidad de desprendimiento del objeto de interés. El modelo permite zonificar la fachada, evaluando cada zona y por agregación el conjunto de la fachada.

7.3. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

Aparte de las conclusiones generales, en el desarrollo de los capítulos se han ido presentando conclusiones específicas de la investigación, de las cuales, a continuación, se presenta una síntesis.

7.3.1. Estudio de las normas ITE en vigor en España

Del estudio y análisis de las normas ITE en vigor resultan las siguientes conclusiones principales:

- i. Existe una significativa disparidad de criterios entre las diferentes administraciones públicas (31 ayuntamientos y una comunidad autónoma), tanto en las características de la norma ITE, como en la forma de aplicarla.
- ii. Son aspectos comunes que quien realiza las inspecciones ITE son técnicos privados, quien gestiona los expedientes es la administración pública y que la aplicación de la ITE durante los primeros años es escalonada en función de la antigüedad de los edificios, entre otros.
- iii. Hay importantes diferencias entre las diversas administraciones públicas en cómo está funcionando la ITE, desde lugares donde funciona bastante bien (entre otros aspectos se realiza un porcentaje elevado de las ITEs que corresponde, y donde el resultado de la ITE es desfavorable, se realizan los tratamientos terapéuticos que sean menester), a lugares donde funciona muy mal y el grado de cumplimiento es muy bajo.

- iv. El aspecto más complejo de la norma ITE es, con diferencia, la gestión de la misma por parte de la administración pública, es decir, que realmente se consiga que se realicen las ITEs que corresponde, y donde el resultado de la ITE sea desfavorable, se realicen los tratamientos terapéuticos que sean menester. Para ello es imprescindible que la administración pública disponga de recursos humanos suficientes para poder realizar la correcta gestión de la ITE (tramitación administrativa de los expedientes ITE, atención al ciudadano, etc.).
- v. A nivel internacional, si bien existen multitud de estudios, monografías, recomendaciones, etc, sobre inspección y mantenimiento de edificios, apenas hay nada sobre normas de las administraciones que obliguen a los propietarios de los edificios a realizar inspecciones periódicas de los edificios. Tan sólo en el ayuntamiento de Roma se ha encontrado una norma de concepción análoga a la ITE, la cual además ya hace años que está derogada. Estas diferencias respecto a nuestra situación, puede responder a las idiosincrasias de los mercados de cada país.
- vi. En todos los casos, se entiende que es totalmente necesario realizar una adecuada campaña de información y concienciación sobre la ITE antes de la entrada en vigor de ésta y durante el funcionamiento de la misma, utilizando los medios de comunicación y los mecanismos de marketing directo (trípticos, prensa escrita, radio, televisión, etc.).

7.3.2. Propuesta de escala de gravedad de elementos constructivos

De la propuesta de escala de gravedad de elementos constructivos resultan las siguientes conclusiones:

- i. La escala general para determinar el valor G de zonas concretas (como por ejemplo una zona de un forjado, una zona de una fachada, una zona de un pilar, una zona de un balcón, etc.) sirve tanto para esa función, como para base de la evaluación de estado del edificio.
- ii. En caso que se precise determinar la gravedad global de un sistema o del conjunto del edificio se proponen dos métodos alternativos, a utilizar según el tiempo que se deba dedicar al estudio y el grado de precisión requerido en el mismo. Un método es el de la escala general por asignación directa (AD), para el conjunto del edificio, en base a las definiciones genéricas de la escala, mientras que el otro es dividir el edificio en sistemas y dar pesos a los mismos (*Weighted Gravity System* WGS), obteniéndose los valores G_j asignados a cada zona j . El método de cálculo se compone del método para determinar la gravedad total de un sistema, y el método WGB (*Weighted Gravity Building*) para determinar la gravedad total del edificio.
- iii. Para el conjunto de un edificio real el método de asignación directa (AD), puede introducir un cierto grado de variabilidad entre los técnicos al asignar valores G , Por su parte, la metodología de cálculo WGB recoge de manera más sensible la gravedad del edificio, al permitir ponderar, por ejemplo, aquellas partes más degradadas.

- iv. En el caso particular de un edificio que esté todo él en buen estado (valores G_j bajos), o todo él en mal estado (valores G_j altos) (es decir con muy poca variabilidad entre valores G_j) las gravedades resultantes para sistemas $G_{rw}^{(s)}$ o para el conjunto del edificio G_w^* son muy similares en cualquiera de los métodos de cálculo.
- v. Es importante destacar la facilidad de aplicación por parte de un técnico de la metodología propuesta, ya que a través de una hoja de cálculo en Excel, simplemente introduciendo los diferentes valores G_j y w_j (proporción de la superficie de la zona j considerada respecto a la superficie total del sistema considerado) correspondientes a cada sistema, se obtienen automáticamente todos los valores resultantes buscados.

7.3.3. Validación de la escala propuesta

De la metodología utilizada para validar la escala propuesta resultan las siguientes conclusiones:

- i. El análisis estadístico de los datos recogidos en el ensayo (encuesta a 374 técnicos que valoran el grado de gravedad G de 33 imágenes de elementos constructivos, en base a las definiciones genéricas de la escala) permite concluir una limitación importante de la Escala General de 11 grados: su baja probabilidad de clasificación correcta (32,07%). El estudio probabilístico de la distribución de respuestas ha permitido proponer la Escala Simplificada con 5 grados y con una probabilidad de clasificación correcta del 62,88%.
- ii. Cuando el grado de gravedad de elementos constructivos se vaya a valorar en base a asignación directa (AD), se recomienda utilizar la Escala Simplificada, al haber menor variabilidad entre los técnicos y aceptable probabilidad de clasificación correcta; mientras que, cuando se utilicen otros métodos diferentes a AD, como el que se propone en el Capítulo 6 para fachadas, basado en indicadores y expresiones matemáticas, donde se reduce de forma muy notable el grado de variabilidad entre los técnicos para obtener valores de G , se considera adecuado utilizar la Escala General.
- iii. Cabe resaltar que valores de G (según la Escala General de 11 grados) se pueden traducir automáticamente a valores de GS (según la Escala Simplificada de 5 grados), tal y como se muestra en la *Tabla 7.1*.

G	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GS	0	1		2			3		4		

Tabla 7.1. Correspondencia entre valores de G y de GS

- iv. En el gráfico de puntos de los Errores Tipo I y II para los once valores de GR , podemos identificar por encima de la diagonal aquellos grados de gravedad para los

cuales el error de Tipo II es superior al error de Tipo I ($GR = 0, 6, 7, 8$ y 9), y análogamente aquellos grados para los cuales el error de Tipo I es superior al error de Tipo II ($GR = 1, 2, 3, 4, 5$ y 10). Aparte de las singularidades de los casos $GR = 0$ y $GR = 10$, la anterior identificación permite concluir una mayor probabilidad de clasificación incorrecta para los grados bajos, así como una mayor no credibilidad de la asignación de los técnicos para los grados altos. Este efecto conjunto demuestra un sesgo al lado de la seguridad, es decir sobreestimación del grado de gravedad, por parte de los técnicos.

7.3.4. Sistema de Evaluación de Fachadas (SEF)

De la metodología denominada Sistema de Evaluación de Fachadas (SEF), resultan las siguientes conclusiones:

- i. La metodología se compone de dos partes: gráfica y numérica. En la parte gráfica se representa la fachada y las zonas que se delimitan de la misma, en base a las disfunciones existentes y a las características de los materiales y de los elementos constructivos que constituyen la fachada. En la parte numérica, una vez obtenidos los diferentes datos de la fachada a partir de la parte gráfica, se calculan los indicadores que permiten determinar el grado de gravedad de cada zona j de la fachada, G_j , con el menor grado de variabilidad posible. El cálculo se realiza mediante la aplicación de diversas expresiones matemáticas propuestas.
- ii. Los indicadores principales utilizados son la energía de impacto del objeto que se puede desprender, y la probabilidad de desprendimiento del objeto de interés.
- iii. Para la obtención de la expresión matemática que permite determinar el indicador de energía de impacto se tienen en cuenta datos físicos del objeto de interés, como su masa, la altura a la que está situado y su superficie; mientras que para determinar el indicador probabilidad de desprendimiento, se ha realizado un ensayo consistente en que 5 expertos valoraran la probabilidad de desprendimiento de zonas delimitadas en 197 imágenes de fachadas. El ensayo ha permitido obtener una ecuación de estimación de dicha probabilidad y su indicador asociado.
- iv. Se comprueba mediante la aplicación de SEF a 7 casos reales de edificios, que los valores resultantes de G_j son coherentes con los que resultarían mediante el método de AD.

7.4. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Debido a las características transversales de los temas tratados en la tesis, frente al cierre de esta tesis doctoral se abren un considerable número de futuras líneas de investigación, que quedan resumidas en los siguientes puntos:

- Continuar investigando sobre la evolución de las normas ITE que hay en funcionamiento en España y analizar los datos que se vayan obteniendo. Por otro lado estudiar experimentalmente si la escala de gravedad propuesta en la tesis

funciona adecuadamente en el marco de la ITE, a través de su uso en las normas ITE en vigor (o en algunas de ellas).

- Con objeto de reducir el grado de variabilidad a la hora de realizar asignación directa (AD) de valores G , se considera que sería de utilidad el realizar un catálogo de imágenes de elementos constructivos, que tengan asignado un valor GR de referencia o patrón según las definiciones genéricas de la escala. El que los técnicos puedan disponer de este catálogo de imágenes, junto otros criterios adicionales referidos en la tesis se considera que serviría para unificar criterios, y colaboraría a reducir significativamente el grado de variabilidad a la hora de realizar asignación directa de valores de G . Para confirmar y caracterizar esta hipótesis, se deberían realizar ensayos similares a los del Capítulo 5, si bien disponiendo del referido catálogo de imágenes de elementos constructivos, con sus valores GR asociados.
- Caracterizar hasta qué punto y en qué condiciones una inspección de fachada desde la vía pública es suficiente para su correcto diagnóstico y en consecuencia para valorar adecuadamente su grado de gravedad, o si es necesario realizar también inspección desde el interior del edificio para que el diagnóstico sea correcto. Los resultados de dicha investigación pueden ser útiles para ayudar a definir el tipo de inspección adecuado para la diagnosis de fachadas.
- De la misma manera que en el Capítulo 6 se propone Sistema de Evaluación de Fachadas (SEF) basado en indicadores, es de interés ampliar dicha investigación a otros tipos de elementos constructivos (estructuras de madera, estructuras de hormigón armado, estructuras metálicas, cubiertas, etc.), de manera que para los mismos se propongan también métodos de valoración del grado de gravedad basado en la identificación, caracterización y medida de indicadores. Los resultados de dicha línea de investigación pueden ser de utilidad para reducir la variabilidad entre técnicos a la hora de valorar el grado de gravedad en elementos constructivos.
- Profundizar en el grado de fiabilidad en el diagnóstico de la inspección como función del tiempo t dedicado a la misma [$F = F(t)$]. Para ello es conveniente, entre otras cosas, aumentar el número de casos analizados respecto a los realizados en el Anexo II de esta tesis, de manera que se obtengan un elevado número de valores F_i y t_i .
- Caracterizar la distribución de probabilidades de las zonas en planta de vía pública que puedan quedar afectadas por desprendimientos de fachada. Estos trabajos pueden ser de cierta utilidad, entre otras razones, para facilitar la toma de decisión para delimitar la zona de vía pública con riesgo de quedar afectada por desprendimiento de fachada. El objetivo final de esta línea de investigación sería graficar con isolíneas las zonas de vía pública diferenciadas por distintas probabilidades de recibir el impacto proveniente de desprendimiento de fachada.
- Avanzar en la investigación sobre el uso de materiales inteligentes que puedan dar información sobre la evolución en el tiempo del comportamiento de los mismos y de su repercusión estructural, que permitan plantear políticas de control activo o de

regeneración de daños, en función de circunstancias (ver trabajo de Villalba y Casas, 2012).

- En relación con el concepto de la escala de gravedad se podría diseñar programas informáticos de gestión, de manera que la estructura, aparte de dar valores sobre su estado de salud (deformaciones, figuraciones, etc.) pudiera dar, además, valores G_j de las diferentes partes de la misma. Una vez determinados los valores G_j el programa podría calcular a su vez la gravedad total del sistema estructura según la propuesta desarrollada en la Sección 4.6 de la presente tesis.
- En la línea de lo expuesto sobre materiales inteligentes, es necesario evaluar la viabilidad económica de la propuesta, pues si se diera el caso que la misma tuviera un coste de implantación en las construcciones muy elevado, muy superior a cualquier ahorro posterior que pudiera repercutir, quedaría claro que la propuesta no sería viable aplicarla de forma generalizada, sino tan sólo en algún caso puntual para su estudio científico (Ruiz y Llorens, 2013).

BIBLIOGRAFÍA

Agence Nationale pour l'Amelioration de l'Habitat (ANAH). (2010). Grille d'évaluation de la dégradation de l'habitat.

Aguado, A., Agulló, L., Alegre, V., Díaz, C., Casanovas, X. (2003). Orientación para la selección de la intervención. CYTED.

Aguado, A., Manga, R., Ormazábal, G. y Alavedra, P. (2006). Los aspectos conceptuales del proyecto MIVES. TECNALIA, UPV/EHU y UPC. Bilbao.

Aguado, A. (coordinador del grupo de trabajo) (2008). Contribución a la sostenibilidad desde las estructuras (ICES). Grupo de trabajo Anejo ICES de la EHE.

Aguado, A., Alarcón, B. y Manga, R. (2008). Razón de ser del anejo ICES de la EHE y características del mismo. *Revista Cemento y Hormigón*, 913, 16-23

Andrade, M^a.C. (2007). Seguridad y durabilidad estructural: la necesidad de integrar varias disciplinas. *Anales de la Mecánica de Fractura, Vol. 1. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja*. CSIC, Madrid, 3-8.

Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado (ANEFHOP). (2005). Ensayo de contraste interlaboratorios. Direcció General d'Arquitectura i Paisatge, Catalunya.

Association APOGÉE. (1993). *L'entretien du patrimoine locative*. París. ISBN 2905423072 y 9782905423078

Association APOGÉE. (1993). *Livre blanc de la maintenance immobilière*. Paris, Francia. ISBN 2905423358 y 9782905423351

Balakrishnan, N., (1991). *Handbook of the Logistic Distribution*. Marcel Dekker. ISBN 978-0824785871

Balaras, C.A., Droutsas, K., Dascalaki, E. y Kontoyiannidis, S. (2004). *Building Deterioration Assessment Guidelines – BDAG Multimedia CD-ROM*. Group Energy Conservation, IERSD, National Observatory of Athens, Greece. ISBN 960-87905-6-5.

Balaras, C.A., Droutsas, K., Dascalaki, E. y Kontoyiannidis, S. (2005). Deterioration of European Apartment Buildings. *Energy & Buildings*, **37**, 515-527.

Boussabaine, A. y Kirkham, R. (2003). *Whole life-cycle costing: Risk and risk responses*. Blackwell Publishing, Oxford, United Kingdom, 264

Brandt, E. (1999). EPIQR-a new surveying tool for maintenance and refurbishment. *M.A. Lacasse and D.J. Vanier*. Institute for Research in Construction, Ottawa ON, K1A 0R6, Vancouver, Canada, **3** (8), 1576-1584.

Broto, C. (2006). *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción*. Links. Barcelona, España. ISBN 8496424359 (v.1).

BRIME (1999). *Review of current practice for assessment of structural condition and classification of defects*. Deliverable D2. BRIME PL97-2220.

CAATEEB-Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona (1993). *Gestió i manteniment d'edificis: Seminari*.

CAATEEB-Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona (2009). *Manifest-El Repte de la Rehabilitació*.

Cabeza, J. M. (1992). *Concreciones sobre la rehabilitación de edificios*. Consejo de Colegios de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Andalucía. Sevilla, España. ISBN-2910008420275.

Calavera, J. (1996). *Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado*. Intemac. INTEMAC EDICIONES. Madrid, España. ISBN 8488764022 (o.c.)

Calavera, J. (2003). *Manual para la redacción de informes técnicos en construcción*. INTEMAC EDICIONES. Madrid, España. ISBN 8488764189.

Carlsson, Bo., Moller, K., Marechal, J-Ch., Kohl, M., Heck, M., Brunold, S. y Jorgensen, G. (2002). *General Methodology Of Test Procedures For Assessment Of Durability And Service Life*. Proc. *9th DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Elements*. Brisbane, Australia, 212.

Casanovas, X. (1997). Definicions i conceptes bàsics en el manteniment. Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona.

Castellano, I. (2007). *Inspección técnica de edificios*. CEAC. Barcelona, España. ISBN 9788432917868

Centurion Safety Products Ltd. (2009). Head Protection and Accessories.

Coddington, A. (1979). Friedman's Contribution to Methodological Controversy. *British Review of Economic Issues*, 2 (4), 1-13.

Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona. (1993). Seminari: Gestió i manteniment d'edificis. Barcelona.

Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona. (2009). Manifest - El Repte de la Rehabilitació. Barcelona.

Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya. (2007). La construcció: un producte poc eficient. *Monogràfic 07*. Barcelona.

Contrôle et prévention (Paris). (1989). *Le Coût global d'un bâtiment: guide pratique*. CEP. ISBN 2901199275 et 9782901199274

Conseil International du Batiment (CIB). (1992). Building Pathology; a state of the art report.

Collett, D. (2003). Modelling Survival Data in Medical Research, Second Edition. Boca Raton: Chapman and Hall.

Croome, D.J. (1980). *Calidad y coste total en la construcción*. Gustavo Gili. Barcelona, España. ISBN 8425209862.

Diputació de Barcelona (2009). Estudi de la ITE.

Elhakeem, A. y Hegazy, T. (2012). Building asset management with deficiency tracking and integrated life cycle optimisation. *Structure and Infrastructure Engineering*. 8 (8), 729-738.

Flourentzou, F., Brandt, E. y Wetzel, C. (2000). MEDIC - A method to predicting residual service life and refurbishment investment budgets. *Energy and Buildings*. 31, 2000, 167-170.

Friendly, A. (1973). Beaufort of the Admiralty. *Random House*, New York, 1973.

Frohnsdorff GJC. (1996), Predicting the Service Lives of Materials of Construction. In *Proceedings of the Fourth Materials Engineering Conference*. Chong KP. (ed), 38-53, American Society of Civil Engineers (ASCE), Washington, DC, USA.

Fujita, T.T. (1971). Proposed characterization of tornadoes and hurricanes by area and intensity. *University of Chicago*.

Gabbe, B.J., Cameron P.A. y Finche, C.F. (2003). The status of the Glasgow Coma Scale. *Emergency Medicine*. **15**(4), 353-360.

Gajzler, M. (2013). The Support of Building Management in the Aspect of Technical Maintenance. *Procedia Engineering*, (54), 615-624

Gaspar PL. y de Brito J. (2003), Service Life Prediction: Identifying Independent Durability Factors. In *Proceedings of the Second International Symposium for Integrated Life-time Engineering of Buildings and Civil Infrastructures*. 319–324, ILCDES Kuopio, Helsinki, Finland

Gibert, V. y Royano, V. (2010). *Determinacion de estimadores de durabilidad adaptados a la edificacion existente*. Treball Final de Master. EPSEB-UPC.

Gómez, G. y Canela, M.A. (1994). Fiabilitat Industrial. *Edicions UPC, Col.lecció Politext*. Barcelona.

Gómez, D., del Caño, A., de la Cruz, M.P. y Josa, A. (2012). *Metodología genérica para la evaluación de la sostenibilidad de sistemas constructivos. El método MIVES*. Asociación Científico-Técnica del Hormigón (ACHE).

Gutenberg, B. y Richter, C.F. (1954). Seismicity of the Earth. 2nd edition. Princenton University Press. Princenton.

Hofmann, F. y Karpinski, J. (1980). *Schöne und seltene Minerale*. Leipzig.

Hosmer, D.W. y Lemeshow, S. (2000). *Applied Logistic Regression*. Wiley, New York.

Hovde, P.J. (2004). Factor methods for service life prediction. CIB Report Publication, Rotterdam, The Netherlands.

Hunt, G. (2013). *Comprehensive Facility Operation & Maintenance Manual*. National Institute of Building Sciences. Washington.

ISO, International Organization for Standardization (2011). ISO 15686-1 Buildings and constructed assets-Service life planning Part 1: General principles and framework. Ginebra.

Johnson, R.A. y Wichern, D.W. (2002). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 5th edition, Prentice-Hall, Inc. New Jersey.

Klein, J.P. y Moeschberger, M.L. (1997). *Survival Analysis. Techniques for Censored and Truncated Data*. Springer, New York, USA.

Klutke, G.A., Kiessler, P.C. y Wortman, M.A. (2003). A critical look at the Bathtub Curve. *IEEE Transactions on reability*. **52** (1), 125-129.

Lacasse, MA. y Sjöström, C. (2004). Recent advances in methods for service life prediction of building materials and components. *CIB World Building Congress*, Toronto, Ontario, Canada.

Lacasse, MA. y Sjöström, C. (2005). Advances in methods for service life prediction of building materials and components. *10DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Elements*. Lyon, France.

León, J. (2005). Reflexiones en torno a la inspección de puentes. Jornadas sobre la vida de los puentes. *Zubien Iraupenari Buruzco Jardunaldiok*.

Losada, R., Rojí, E. y Cuadrado, J. (2008). Evaluación del ICES en un edificio de 28 viviendas de VPO. *Cemento y Hormigón*. 913, 60-67.

Mallows, C.L. (1973). Some Comments on C_p . *Technometrics* **15** (4), 661-675.

Manieri, G. (2008). Il Fascicolo di Fabbricato come valido strumento di monitoraggio su larga scala ai fini della conservazione e della sicurezza del patrimonio edilizio. *VI Convegno Nazionale dell'ARCo*, Argos, Roma. 763-769.

Meeker, W. Q. y Escobar, L. A. (1998). *Statistical Methods for Reliability Data*. John Wiley & Sons, New York.

Miranda, A. (1991). Manteniment de l'edifici: fitxes. *ITEC*.

Monjo, J. y otros 21 autores (1998). Tratado de Rehabilitación. Tomo III. Patología y técnicas de intervención. Elementos estructurales. *Munilla-Lería*.

Montgomery, D.C., Peck, E.A. y Vining, G.G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis*. 5th Edition. *Wiley Series in Probability and Statistics*. Wiley.

Moser, K. (1999). Towards the practical evaluation on service life. Illustrative application of the probabilistic approach. 8th *DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components*. Vancouver, Canada. 1.319-1.329.

Moser, K. (2004). Engineering design methods for service life prediction. *CIB Report Publication*, Rotterdam, The Netherlands.

Moser, K. y Hovde, P.J. (2004). Performance based methods for service life prediction. *CIB Report Publication 294*, Rotterdam.

National Roofing Contractors Association (NRCA). (2001). Roofing and waterproofing manual. 5th Edition.

Ortega, L. (2012). *Propuesta metodológica para estimar la vida útil de los sistemas constructivos de fachadas y cubiertas utilizados actualmente con más frecuencia en la edificación española a partir del método propuesto por la norma ISO-15686*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València.

Panagiotopoulou, K. y Kerr, S.M. (2002). Pressure area care: an exploration of greed nurses, knowledge and practice. *J. Adv. Nurs*, **40**(3), 285-96.

Perret, J. (1995). Guide de la maintenance des bâtiments. *Le Moniteur*. París, Francia.

Piñero, I. (2013). *Metodología para priorizar y planificar, de manera sostenible, la rehabilitación de estructuras degradadas: Caso extremo del Centro Histórico de La Habana*. Tesis Doctoral. E.T.S. de Ingeniería de Bilbao. Universidad del País Vasco.

Richter, C.F. (1958). *Elementary Seismology*. W.F. Freeman.

Roche, J. M. (2008). Monitoring Inequality among Social Groups: A Methodology Combining Fuzzy Set Theory and Principal Component Analysis. *Journal of Human Development and Capabilities*, **9** (3), 427-452.

Rostman, S. (1992). Tecnología moderna de durabilidad. Cuadernos Intemac, 5.

Ruiz, F. (2002). La diagnosi de patologies a la construcció i la tasca de l'enginyer municipal. *Col·legi d'Enginyers d'Obres Públiques i Enginyers Civils de Catalunya*, **33**, 28-30.

Ruiz, F. (2005). *Estudi de l'estat de conservació de les edificacions al nucli antic de Vilanova*. Ajuntament de Vilanova i la Geltrú.

Ruiz, F. (2007). *Intervencions en edificis particulars en mal estat per a tècnics*. Diputació de Barcelona.

Ruiz, F. (2012). Inspecciones ITE. Diagnóstico y terapéutica de edificios existentes. *Apuntes del Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona*. Tema 5. Diagnóstico y terapéutica de estructuras de madera.

Ruiz, F. (2013). *Diagnosi de parets de tàpia*. *L'Informatiu*. Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona. Número 335, pp. 58-65.

Ruiz, F. y Llorens, A. (2013). Las estructuras inteligentes. Aplicación de las nuevas tecnologías para la gestión de la salud estructural de las construcciones. *Cimbra*. Consejo de Ingenieros de Obras Públicas e Ingenieros Civiles de España. 400, 16-25.

Ruiz, F. (2014). *Terapèutica de parets de tàpia*. *L'Informatiu*. Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona. 339, 72-79.

Ruiz, F. (2014). La importància del manteniment i de les inspeccions periòdiques. Reflexions sobre un accident recent per despreniment de façana. *L'Informatiu. Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona*. 341, 84-87.

Salvador, J. y Mauri, G. (2007). Paraules de mar. Recull terminològic de navegació tradicional. Associació per la Difusió de la Navegació Tradicional i la Recuperació del Patrimoni Marítim de Palamós.

SAMARIS (2005). State of the art report on assessment of structures in selected EEA and CE countries. Report SAM-GE-DE19. European Project SAMARIS (Sustainable and Advanced Materials for Road Infrastructure). V Framework Program.

San José, J.T. y Josa, A. (2008). Planteamiento MIVES para la evaluación. El caso de la EHE. *Cemento y Hormigón*. 913, 26-34.

San José, J.T. y Garrucho, I. (2010). A system approach to the environmental analysis of industrial buildings. *Building & Environment*, **45**(3), 673-683.

Sanuy, J. (2012). Resolució de dubtes i consultes sobre les ITE. *Jornada tècnica. Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona*. (www.apabcn.cat/ca_es/altres/Pagines/videos.aspx).

Sarja, A., Caccavelli, D. y Chevalier, J.L. (2005). European Guide for life time design and management of civil infraestructuras and buildings. *Project Cluster Lifetime*.

Schervish, M.J. (1996). P Values: What They Are and What They Are Not. *The American Statistician*. 50, 203-206.

Serrat, C.; Gibert, V. y Jordana, F. (2009). Survival analysis techniques applied to building maintenance. *A: International Conference on Construction and Building Research. "1st International Conference on Construction and Building Research"*. Madrid: Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica. Universidad Politécnica de Madrid, 2009, 1-12.

Serrat, C. y Gómez, G. (2002). The estimation of the stratified survival with missing covariates. *Proceedings of the First Barcelona Workshop on Survival Analysis*, Barcelona, Spain. Abstracts 97-98.

Service de la politique technique. (1979). Coût des travaux de réhabilitation: méthode d'estimation rapide. *Direction de la Construcccion. Ministère de l'Environnement et du cadre de vie*.

Thiel, T. (2008). Decision aiding related to maintenance of buildings: technical, economical and enviromental aspects. *International Journal of Enviroment and Pollution*, (34), 158-170.

Tiveron, A. (1990). La manutenzione: un problema per l'edilizia. *DEI*. Roma, Italia. ISBN 8877225637.

Turkey, J.W., Mc Gill, R. y Larsen, W.A. (1978). Variations of Box Plots. *The American Statistician*. 32, 12-16.

U-HAB (Urban Homesteading Assistance Board) y HPD (Housing Preservation and Development) (2012). *A guide to building maintenance and repair*. New York.

Uzarski, D.R., Grussing, M.N. y Clayton, J.B. (2007). Knowledge-based condition survey inspection concepts. *Journal of Infrastructure Systems*, **13** (1), 72-79.

Villalba, S. y Casas, J.R. (2012). Application of optical fiber distributed sensing to health monitoring of concrete structures. *Mechanical Systems and Signal Processing*. DOI: 10.1016/j.ymssp.

Vittinghoff, E., Glidden, D.V., Shiboski, S.C. y McCulloch, Ch.E. (2005). *Regression Methods in Biostatistics*. Springer. New York, USA.

Von Korff, M., Ormel, J., Keefe, F. y Dworking, S. (1992). Grading the severity of chronic pain. *Elsevier B.V.*

ANEXO I

DATOS DE LAS NORMAS ITE EN VIGOR

I.1. INTRODUCCIÓN

En el Capítulo 3 se ha realizado un estudio sobre el funcionamiento de las normas²⁵ ITE (Inspección Técnica de Edificios) que hay vigentes en diversos ayuntamientos y una comunidad autónoma de España. El objeto del presente anexo es plasmar en diferentes tablas los datos principales que se han obtenido de la investigación realizada desde enero del 2009 a febrero del 2011 sobre el funcionamiento de las normas ITE en vigor. Estos datos dan mayor consistencia a los razonamientos que se explican en el Capítulo 3. Como se explica en dicho capítulo, algunos de los datos se han obtenido consultando páginas web, pero la mayor parte de los datos se han obtenido consultando a los ayuntamientos que tienen ITE en vigor.

Cabe señalar que ha habido datos que no se han podido obtener, pues no todos los ayuntamientos contestaban a las consultas formuladas, o en ocasiones los datos que proporcionaban eran incompletos. Por ese motivo hay espacios en blanco en las diferentes tablas.

El criterio de exposición de las tablas es comenzar por los aspectos más generales (características de las normas ITE en vigor) para acabar con aspectos más concretos (subapartados existentes en los documentos ITE, dentro de cada sistema constructivo). Desde un punto de vista de formato se hace notar que en la *Tabla I.1* las comunidades autónomas (CC.AA.) se ponen en la primera columna, mientras que en el resto de las tablas las CC.AA. se ponen en la primera fila. Esto es debido a que las características del contenido de cada tabla hacen más conveniente los dos tipos de configuraciones referidos para su mejor visualización.

²⁵ Se utiliza el término genérico “norma” ITE, ya que en el caso de los ayuntamientos, estas normas son ordenanzas, y en el caso de comunidad autónoma, esta norma es un decreto.

I.2. DATOS PRINCIPALES DE LAS NORMAS ITE EN VIGOR

En la *Tabla I.1* se presentan las características generales de todas las normas ITE en vigor. Por su extensión se presenta en dos partes.

CC.AA.	Municipio o CC.AA.	Nº. habitantes	Nº. edificios	Año inicio	Ámbito aplicación	Edad edificio	Periodicidad
Andalucía	Cádiz	127.200	5.551	1999	público / privado	50 años	10 años
	Córdoba	362.377	33.571	2009	público / privado	50 años	10 años
	Granada	148.746	21.377	2002	público / privado	50 años	10 años
	Jerez de la Frontera	208.896	27.577	2008	público / privado	20 años	10 / 15 años
	Málaga	568.305	52.593	2002	público / privado	20 años	10 / 15 años
	Puerto de Sta María	88.503	15.087	2009	público / privado	30 años	10 años
	Sevilla	704.198	59.559	2000	público / privado	20 años	10 / 15 años
Aragón	Zaragoza	668.000	8.190	2002	público / privado	50 años	10 años
Castilla la Mancha	Cuenca	56.189		2010	público / privado	50 años	5 años
	Toledo	697.959		2000	público / privado	30 años	10 años
Castilla León	Ávila	59.191		2011	público / privado	40 años	10 años
	León	142.439		2009	público / privado	40 años	10 años
	Salamanca	213.399		2010	público / privado	40 años	10 años
	Valladolid	315.522		2010	público / privado	40 años	10 años
Cataluña	Cataluña (CC.AA.)	7.512.381	1.192.084	2010	privado (plurifamiliar)	45 años	10 años
	Manresa	76.209		2007	privado	40 años	10 años
C. de Madrid	Alcalá de Henares	240.000	10.502	2001	público / privado	30 años	10 años
	Alcobendas	110.000	7.881	2003	público / privado	30 años	10 años
	Madrid	3.238.208	155.846	2000	público / privado	30 años	10 años
	Móstoles	206.015	7.231	2001	público / privado	15 años	10 años
	Navalcarnero	25.000	4.159	2004	público / privado	30 años	10 años
	San Sebastián de los Reyes	72.414	7.105	2006	público / privado	30 años	10 años
	Valdemoro	62.750	3.895	2001	público / privado	30 años	10 años
C.Valenciana.	Alcoy	62.835	7.790	2001	público / privado	50 años	5 años
	Valencia	810.064		2000	público / privado	50 años	5 años
Galicia	Ferrol	74.696	10.636	2008	público / privado	50 años	5 / 10 años
	La Coruña	249.000	16.046	2004	público / privado	40 años	10 años
	Lugo	95.416	14.555	2003	público / privado	30 años	10 años
	Vigo	297.124	33.775	2006	público / privado	30 años	10 años
I. Baleares	Palma de Mallorca	300.000	33.000	2005	público / privado	25 años	10 años
I. Canarias	San Cristóbal de la Laguna	152.222		2007	público / privado	25 años	10 años
País Vasco	Basauri	41.971	1.794	2010	privado y/o catalogado	50 años	10 años

Tabla I.1. Características generales de todas las normas ITE en vigor

En la *Tabla I.2* se aportan datos específicos de algunas normas ITE en vigor (se ha seleccionado una norma ITE por CC.AA.), y debido a la extensión de los datos que incluye, la tabla se presenta en dos partes.

CC.AA.	Andalucía	Aragón	Castilla la Mancha	Castilla León	Cataluña
Municipio o CC.AA.	Málaga	Zaragoza	Cuenca	León	Cataluña (CC.AA.)
Consecuencias en caso de incumplimiento	Multas coercitivas	Multas coercitivas a partir del 2010.	Multas coercitivas	Multas coercitivas	Multas coercitivas
Titulación requerida para hacer ITEs	Aparejadores y arquitectos	Aparejadores y arquitectos (en revisión)	Aparejadores y arquitectos	Aparejadores y arquitectos	Aparejadores y arquitectos
Formación específica para hacer ITEs	Curso de patología y 3 años de experiencia.	No necesaria	No necesaria	No necesaria	No necesaria
Nº ITEs tramitadas		8.190		3	3.000
ITEs favorables		500 (6%)		3	600 (20%)
ITEs desfavorables		94%			80% (2.400)
ITEs desfavorables solucionadas					
Departamento que gestiona las ITEs	Departamento ITE (depende del departamento de Urbanismo)	Departamento ITE (depende del departamento de Urbanismo)	Previsión: Departamento ITE (depende del departamento de Urbanismo)	Departamento de Arquitectura de Vías y Obras	Departamento ITE (depende del Área de Vivienda de la Generalitat)
Nº personas del departamento ITE	9	4 (1 letrada, 1 amd, 2 arqu.)	Previsión: 2 técnicos, 1 letrado, 1 ayudante letrado, 4 administrativos y un inspector.		4 aparejadores

CC.AA.	C. de Madrid	C.Valenciana	Galicia	I. Baleares	I. Canarias	País Vasco
Municipio o CC.AA.	Madrid	Alcoy	Vigo	Palma de Mallorca	San Cristóbal de la Laguna	Basauri
Consecuencias en caso de incumplimiento	Multas coercitivas	Multas coercitivas	Multas coercitivas	Multas coercitivas	Multas coercitivas	Multas coercitivas
Titulación requerida para hacer ITEs	Aparejadores y arquitectos. También diversas ingenierías (de obras públicas, de caminos, industriales, etc.)	Aparejadores y arquitectos	Aparejadores y arquitectos	Aparejadores y arquitectos	Aparejadores y arquitectos	Aparejadores y arquitectos
Formación específica para hacer ITEs	No necesaria	No necesaria	No necesaria	No necesaria	No necesaria	No necesaria
Nº ITEs tramitadas	100.000	1.912	7.072	2.078		
ITEs favorables	50.000 (50%)	555 (29%)	5.940 (84%)	690 (33%)		
ITEs desfavorables	50.000 (50%)	880 (46%) (Otras: 287 (15%))	1.132 (16%)	1.086 (52%) (Otras: 302 (15%))		
ITEs desfavorables solucionadas		36% (317)	130 finales de obra, 237 en ejecución y 15 en declaración de ruina.			
Departamento que gestiona las ITEs	Departamento ITE (depende del departamento de Urbanismo)	Departamento ITE (depende del departamento de Urbanismo)	Departamento ITE (depende de la Gerencia municipal de Urbanismo)	Departamento ITE (depende del departamento de Urbanismo)	Registro de Inspección Técnica de la Edificación	
Nº personas del departamento ITE	40	4 (2 arquitectos, 1 letrada, 1 administrativo)		13		

Tabla I.2. Características específicas de algunas normas ITE en vigor (una por CC.AA.)

En la *Tabla I.3* se presentan los apartados existentes en los documentos ITE.

CC.AA.	Andalucía	Aragón	Castilla la Mancha	Castilla León	Cataluña	C. de Madrid	C.Valenciana	Galicia	I. Baleares	I. Canarias	País Vasco
Municipio o CC.AA.	Málaga	Zaragoza	Cuenca	León	Cataluña (CC.AA.)	Madrid	Alcoy	Vigo	Palma de Mallorca	San Cristóbal de la Laguna	Basauri
Datos propiedad	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Datos urbanísticos	X	X						X	X	X	X
Datos del edificio (*)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Datos del técnico	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Resumen resultado ITE	X		X	X		X	X			X	
Plano de situación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Fotografías del estado actual/deficiencias	X	X	X		X		X	X	X	X	
Cimentación	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Estructura	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fachadas/medianeras	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cubiertas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Particiones			X	X		X	X	X			
Revestimientos		X	X				X				
Otros elementos (antenas, chimeneas, etc.)		X	X				X		X		
Instalaciones	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Descripción de las deficiencias	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Plazo para subsanar las deficiencias				X	X	X		X			X
Descripción intervenciones necesarias	X		X	X		X	X	X	X	X	X
Presupuesto estimado de las obras necesarias	X									X	X
Descripción de las medidas inmediatas de seguridad	X			X	X	X		X	X		X
Compromiso ejecución	X										
Observaciones/recomendaciones	X	X	X		X		X	X	X		
Idoneidad de las obras de anteriores ITEs (**)	X			X							
Cumplimiento de las recomendaciones de anteriores ITEs			X				X	X			
Conclusión final (***)	X	X			X				X		X

Tabla I.3. Apartados existentes en los documentos ITE

(*) **Datos del edificio:** Este apartado normalmente se compone de los siguientes datos: dirección, código postal, municipio, provincia, ref. catastral, fecha de construcción, etc.

(**) **Idoneidad de las obras anteriores:** Apartado específico donde se debe citar si las obras de subsanación de ITEs anteriores han sido las adecuadas o por el contrario no.

(***) **Conclusión final:** Se dictamina si el resultado de la ITE es favorable o desfavorable, o la calificación global del edificio. En algunos modelos se compone de dos documentos diferentes, uno para ITE favorable y otro para desfavorable y en otros se hace un resumen del resultado de la ITE.

Como se observa en dicha tabla, de los 25 apartados presentados, tan solo en 7 coinciden en todas las normas ITE (los que están coloreados en la tabla). Estos apartados que están presentes en todas las normas ITE son los siguientes: datos de la propiedad; datos del edificio; datos del técnico; estructura; fachadas/medianeras; cubiertas; instalaciones. En los 18 apartados restantes no hay coincidencia entre las diferentes normas ITE.

En la *Tabla I.4* se presentan los subapartados existentes en los documentos ITE (dentro de cada sistema constructivo).

CC.AA.	Andalucía	Aragón	Castilla la Mancha	Castilla León	Cataluña	C. de Madrid	C.Valenciana	Galicia	I. Baleares	I. Canarias	País Vasco
Municipio o CC.AA.	Málaga	Zaragoza	Cuenca	León	Cataluña (CC.AA.)	Madrid	Alcoy	Vigo	Palma de Mallorca	San Cristóbal de la Laguna	Basauri
Método de inspección empleado	X			X		X		X		X	
Descripción elementos constructivos					X	X		X	X		X
Calificación del estado de conservación		X	X				X		X	X	X
Descripción de las deficiencias			X	X		X	X	X	X		
Causas posibles	X			X		X		X			
Descripción intervenciones necesarias	X		X	X			X	X		X	X
Presupuesto estimado de las obras necesarias	X		X							X	
Descripción de las medidas inmediatas de seguridad				X							
Idoneidad de las obras de anteriores ITEs				X							
Resultado inspección (*)	X			X		X		X			X

Tabla I.4. Subapartados existentes en los documentos ITE (dentro de cada sistema constructivo)

(*) **Resultado de la inspección:** Este apartado especifica si la inspección es favorable o desfavorable en cada sistema constructivo.

Como se puede observar en las 4 tablas presentadas y ya se explica en el Capítulo 3, existen numerosas diferencias entre las normas ITE que hay en vigor en España.

ANEXO II

TRABAJO DE CAMPO EN MATERIA DE DIAGNOSIS DE EDIFICIOS. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

II.1. INTRODUCCIÓN

Los objetivos del presente anexo son los siguientes:

- Presentar los principales datos estadísticos procedentes del trabajo de campo del doctorando en materia de diagnóstico de edificios, y en materia de intervenciones de la administración pública sobre edificios privados en mal estado. Este trabajo de campo se desarrolla en un periodo de 19 años (desde el año 1993 al año 2011), y se puede resumir en las cifras básicas globales, que son 2.363 inspecciones y 1.558 informes en relación a diagnóstico de patología en edificios, así como intervenir en numerosos casos de extrema gravedad (24 casos de colapsos de edificios (para averiguar las causas de los siniestros así como dictaminar las medidas urgentes a tomar respecto al edificio siniestrado y edificios colindantes) y 32 casos en que el doctorando dictaminó el desalojo (total o parcial) de edificios debido a que tenían lesiones de extrema gravedad, que suponían un gran riesgo para la integridad de las personas que residían en dichos edificios).
- Realizar el análisis de los datos presentados. Esta parte inicial del anexo permite establecer una serie de conclusiones y pautas de intervención, como son lo que en este anexo se denomina estudio del efecto suceso desencadenante en el marco normativo y en el marco sociológico, y el establecer criterios de intervención sobre inspección y diagnóstico de edificios.

El desarrollo explicado del presente anexo se esquematiza en la *Figura II.1*.

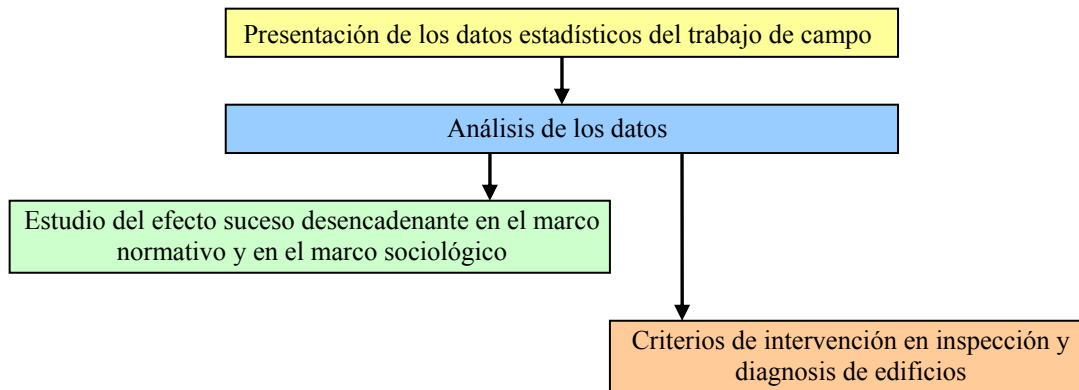


Figura II.1. Desarrollo del Anexo II

La importancia de este anexo y por tanto la conveniencia de incluirlo en la tesis radica en que es de utilidad para lo tratado en el cuerpo principal de la tesis (Capítulos 3, 4, 5 y 6), y que a su vez este anexo presenta diversas aportaciones.

II.2. CARACTERÍSTICAS DEL TRABAJO DE CAMPO

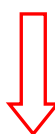
En esta sección se presentan los datos estadísticos principales del trabajo de campo realizado en materia de diagnóstico de edificios. De estos datos se realizan análisis de los que se extraen diversas conclusiones. Cabe decir que en estos datos se contabiliza sólo el trabajo de campo realizado en el municipio de Vilanova i la Geltrú (VNG). Las numerosas inspecciones e informes sobre diagnóstico y terapéutica realizados por el doctorando en otros lugares, no se contabilizan en estos datos para su tratamiento estadístico y posterior análisis. El orden de exposición es comenzar de más general para ir progresando a aspectos más particulares, lo que facilita la comprensión de la materia expuesta.

II.2.1. Datos generales

Los datos referidos se presentan en la *Tabla II.1*²⁶.

²⁶ Los valores numéricos que se dan en la *Tabla II.1* corresponden siempre a trabajo de campo realizado en Vilanova i la Geltrú. Así por ejemplo en la fila 10 de la *Tabla II.1* donde el concepto que se estudia es el número de incendios de edificios, se refiere al número de casos de incendios de edificios en los cuales ha intervenido el doctorando para diagnosticar el edificio después del incendio y evaluar, entre otras cosas, el grado de afectación de la estructura, con frecuencia al muy poco tiempo de haberse extinguido el incendio, y tomar las decisiones derivadas del diagnóstico (si el edificio se debe mantener desalojado por riesgo en la estructura o por el contrario los usuarios pueden volver a sus viviendas, si hay que tomar o no medidas de urgencia (apuntalamientos, etc.), si se deben o no realizar tratamientos terapéuticos en la estructura, etc.). Los casos de incendios de edificios donde no fue necesaria la diagnosis del doctorando (porque los bomberos no tenían dudas sobre el estado de la estructura del edificio después del incendio) no están contabilizados. Análogos comentarios por ejemplo respecto a la fila 11 sobre explosiones de gas en edificios.

1	inspecciones
2	informes
3	órdenes de ejecución
4	instancias recibidas
5	expedientes de ruina
6	colapsos de edificios (totales o parciales)
7	edificios desalojados debido a lesiones graves
8	inspecciones de fachadas
9	vallas por riesgo desprendimiento fachada
10	incendios en edificios
11	explosiones de gas en edificios



Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1993	87	77	39	64	2	0	2	6	2	1	0
1994	105	78	58	96	2	5	5	8	2	0	1
1995	93	83	76	96	3	1	1	9	3	2	0
1996	147	92	51	87	0	2	4	17	6	0	0
1997	148	98	55	82	4	0	0	56	12	0	1
1998	139	120	71	122	3	0	0	61	28	0	0
1999	150	120	81	120	1	0	0	65	31	1	1
2000	168	99	65	143	2	0	0	48	13	1	0
2001	148	107	73	81	3	2	1	65	25	0	1
2002	125	93	75	105	0	3	5	41	18	2	0
2003	125	90	66	84	1	0	0	55	36	1	0
2004	84	68	55	65	0	3	0	26	8	4	1
2005	96	58	52	77	0	3	8	30	17	2	1
2006	81	61	53	74	1	1	2	35	2	0	0
2007	93	35	48	73	0	1	1	39	6	1	0
2008	111	70	89	103	0	3	2	34	5	2	0
2009	148	53	52	71	0	0	0	40	5	0	0
2010	201	77	52	79	0	0	1	61	13	0	0
TOTALES	2.249	1.479	1.111	1.622	22	24	32	696	232	17	6

Tabla II.1. Datos totales del trabajo de campo del doctorando en materia de inspección y diagnóstico en el periodo 1993-2010

II.2.2. Evolución del número de actuaciones

En este apartado se consideran actuaciones a las inspecciones, informes, órdenes de ejecución²⁷ e instancias recibidas. En la *Figura I.2* se presenta la evolución en el tiempo de este tipo de actuaciones en el marco del trabajo de campo.

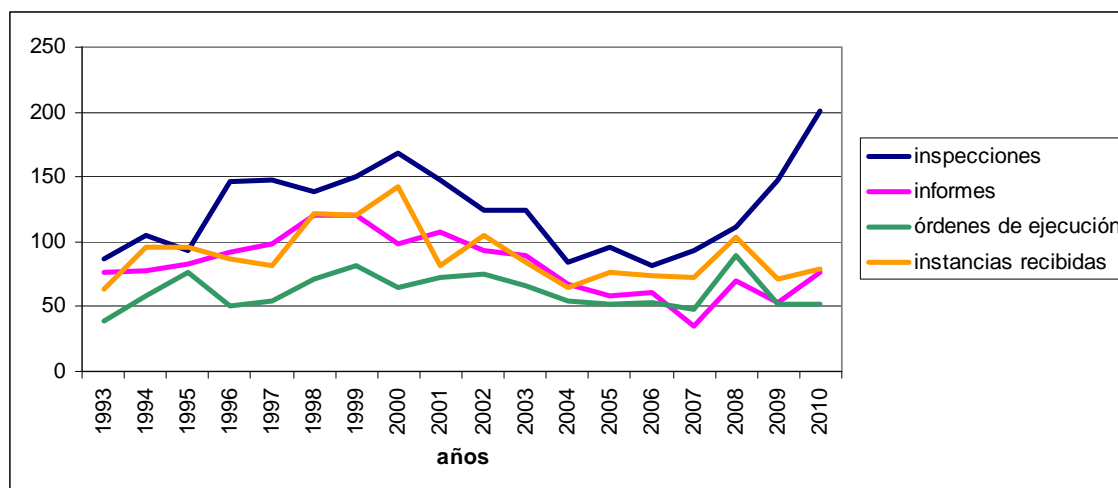


Figura II.2. Evolución del número de actuaciones

Se puede apreciar que, en general, existe correlación entre el número de inspecciones, de informes y de órdenes de ejecución, de forma que cuando aumenta el número de inspecciones hechas por el doctorando, también aumenta el número de informes, y a su vez también aumenta el número de órdenes de ejecución.

Tan sólo en los años 2009 y 2010 se observa una anomalía a este criterio general, al haber disminución del número de informes y de órdenes de ejecución, a pesar del aumento del número de inspecciones realizadas por el doctorando. alguna de las razones que explica este hecho es que en los años 2009 y 2010 una parte de las inspecciones eran para cédulas de habitabilidad²⁸ y para reagrupamiento familiar²⁹, en ambos casos había que revisar la vivienda y el doctorando también revisaba la fachada, y en los casos en que la vivienda y la fachada estuvieran razonablemente bien, que eran la mayoría, no hacía falta hacer informe técnico (aparte, lógicamente del informe de cédula o de reagrupamiento,

²⁷ La orden de ejecución es un procedimiento administrativo a través del cual los ayuntamientos pueden requerir a los propietarios de edificios en mal estado a intervenir, para que el edificio reúna las adecuadas condiciones de seguridad, salubridad y ornato público.

²⁸ En Cataluña, a partir del año 2009 es obligatorio que las cédulas de habitabilidad de segunda ocupación (realizadas por técnicos privados) sean revisadas en su totalidad por los ayuntamientos, incluyendo inspección de la vivienda correspondiente por parte de técnico municipal.

²⁹ Tramitación administrativa requerida a partir del año 2009 a los extranjeros residentes en España que solicitan el empadronamiento de algún familiar en su vivienda. Uno de los trámites necesarios es inspección de técnico municipal a la vivienda, con objeto de describir las características principales de la misma y evaluar si tiene unas condiciones adecuadas para su uso como vivienda.

pero estos no se contabilizan en la *Figura II.2* como informes técnicos sobre diagnóstico de patología).

Análogamente se puede apreciar también que, en general, existe correlación entre el número de instancias recibidas en materia de edificios en mal estado³⁰, con el número inspecciones, de informes y de órdenes de ejecución. Existen algunas anomalías a este criterio general en los años 2001, 2009 y 2010, en estos dos últimos años debido a las razones explicadas en el anterior párrafo.

II.2.3. Principales patologías diagnosticadas

Las patologías y disfunciones más habituales detectadas en las inspecciones realizadas por el doctorando en el marco del trabajo de campo son las siguientes:

- Lesión de aplastamiento de pared medianera de tapia. Esta lesión es la principal causa de colapso de edificios en Vilanova i la Geltrú, y en Cataluña en general (Ruiz, 2013). Colapsa la pared medianera, lo que produce el colapso de los dos edificios que en ella se apoyan.
- Degradación de vigas de madera, con gran presencia del insecto xilófago termita, del tipo *Reticulitermes luccifugus* Rossi, siendo esta la primera causa de destrucción de estructuras de madera en la ciudad. También se han detectado importantes ataques de pudrición parda con hongos del tipo *Merulius lacrymans*, así como del insecto xilófago *Hylotrupes bajulus* (carcoma grande). Mucho menos graves aunque muy frecuentes son los ataques detectados del insecto xilófago *Anobium punctatum* (carcoma), así como de líctidos.
- Oxidación de perfiles metálicos estructurales, y de otros elementos metálicos.
- Carbonatación del hormigón y corrosión de armaduras.
- Presencia de cemento aluminoso. En la mayor parte de los casos la estructura estaba razonablemente bien, aunque en algunos pocos casos se han detectado estructuras de cemento aluminoso que estaban fuertemente degradadas, normalmente debido, entre otras razones, a la presencia intensa y persistente de humedades.
- Humedades de diversa índole, siendo las más habituales las siguientes: capilaridad, condensación, y filtraciones.
- Degradación de fachadas, balcones y cornisas.

³⁰ En el número de instancias sólo están contabilizadas las que motivaron intervención del doctorando (asesorando o haciendo inspección e informe), y no todas aquellas que, todo y tratar sobre edificios en mal estado, pudieron ser filtradas y respondidas por los servicios administrativos del ayuntamiento sin ser necesaria la intervención del doctorando.

- Degradación de cubiertas y terrados.
- Deterioramiento en las instalaciones de saneamiento.
- Deterioramiento de otro tipo de instalaciones.

II.2.4. Evolución en el tiempo de inspecciones exclusivamente de fachadas, y de la colocación de vallas

En la *Figura II. 3* se presenta la evolución del número de inspecciones exclusivamente de fachadas, y del número de veces que se han colocado vallas en la vía pública por riesgo de desprendimientos.

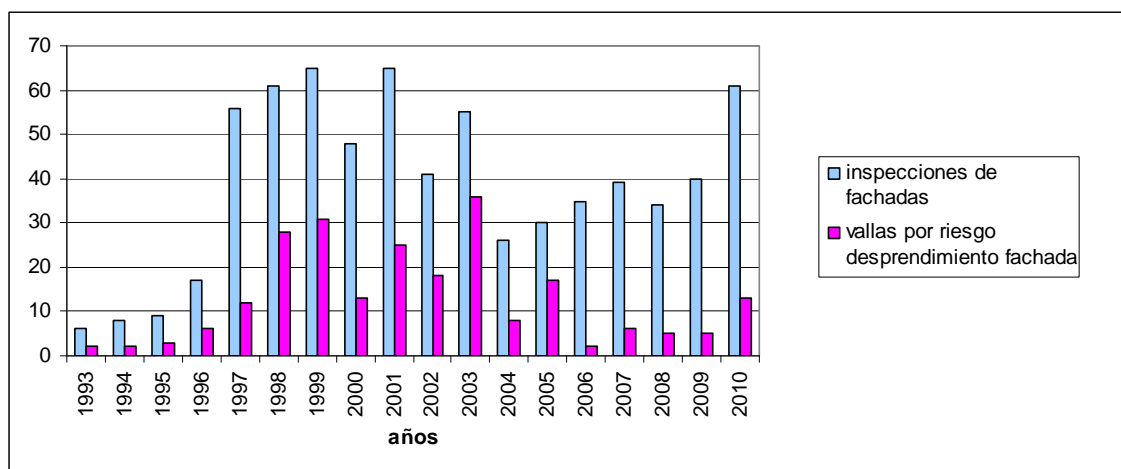


Figura II.3. Evolución del número de inspecciones exclusivamente de fachadas, y del número de veces que se han colocado vallas en la vía pública por riesgo de desprendimientos

En la *Figura II.3* se aprecia que a partir del año 1997 se produce un fuerte aumento del número de inspecciones de fachadas. Como en el marco del trabajo de campo las inspecciones de fachada se realizan principalmente a partir de avisos de ciudadanos por mal estado de fachada, este incremento fue motivado en parte por el efecto sociológico producido a raíz de tres accidentes mortales debidos a desprendimientos de fachada, que se produjeron en la ciudad de Barcelona en un corto periodo de tiempo (unos pocos meses) en aquel año 1997. Este efecto sociológico producido por determinados tipos de sucesos se analiza en la Sección II.3.

También se aprecia en la *Figura II.3* que a partir del año 2006 se produce un fuerte descenso del número de veces que se colocan vallas en la vía pública por riesgo de desprendimientos, lo que implica una reducción del número de casos graves. Esto es debido en parte al gran número de fachadas que fueron rehabilitadas en el periodo 1997-2003, la cual cosa a su vez fue debida en parte al gran número de órdenes de ejecución que dictó el ayuntamiento para reparar fachadas (unas 250 órdenes de ejecución sobre fachadas), lo que motivó que se rehabilitaran 250 fachadas en mal estado. También tuvo

cierta influencia campañas de concienciación realizadas por el ayuntamiento a partir del año 2000, así como las subvenciones para la rehabilitación.

II.2.5. Consultas de ciudadanos en materia de edificios privados en mal estado

En total han sido atendidas personalmente por el doctorando 8.700 consultas en materia de edificios privados en mal estado en el periodo 1993-2010. No se incluyen otras muchas más, unas 10.000, atendidas por teléfono. En la *Figura II.4* se aprecia que el número de consultas experimenta un importante y progresivo aumento durante los primeros cinco años, para luego estabilizarse en una curva con variaciones relativamente pequeñas. Este efecto es debido a que en diciembre de 1992 se creó el Departamento de Vivienda en el ayuntamiento, para dar respuesta en materia de edificios privados en mal estado. Antes de esta fecha, no se ofrecía este servicio por parte del ayuntamiento, de manera que si un ciudadano tenía alguna duda o consulta en materia de edificios en mal estado, difícilmente iría al ayuntamiento, pues sabía que no se le daría respuesta consistente.

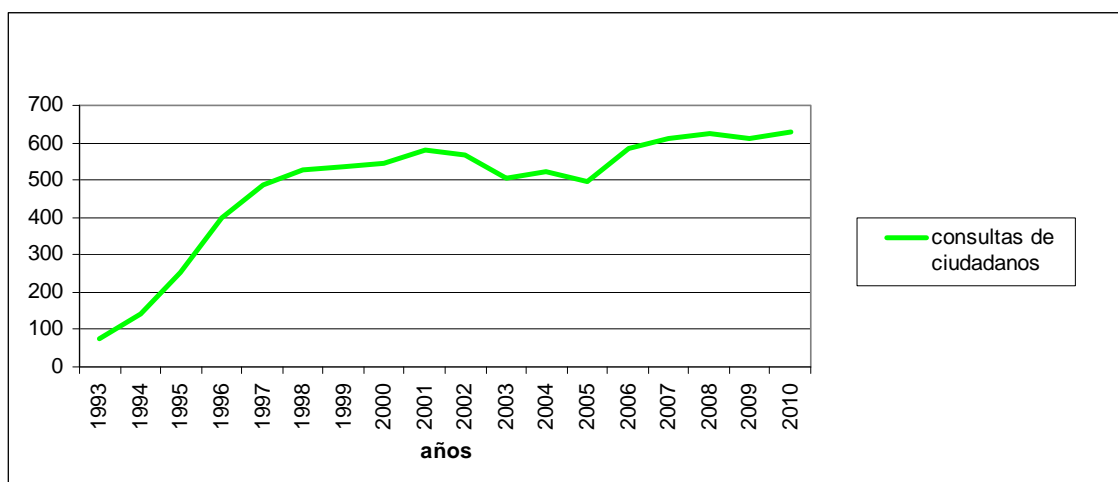


Figura II.4. Evolución del número de consultas de ciudadanos en materia de edificios privados en mal estado

A partir del año 1993, al empezar a funcionar el referido departamento e ir interviniendo con solvencia, creó el efecto que la ciudadanía iba conociendo cada vez más este departamento y quedando satisfecha con el servicio que ofrecía, de manera que el número de ciudadanos en acudir al ayuntamiento a hacer consultas sobre estos temas fue creciendo progresivamente de forma importante, hasta llegar a un punto que quedó aproximadamente estabilizado.

Las consultas más habituales de ciudadanos atendidas por el doctorando en materia de edificios privados en mal estado, han sido las siguientes:

- Es inquilino en un edificio, manifiesta que el edificio está degradado, y que ha avisado al propietario para que lo arregle, pero este no interviene.

- Es propietario en un edificio, y cree que la estructura puede tener algún problema y que se debería intervenir, pero no se interviene porque hay desacuerdo entre los diferentes vecinos que conforman la comunidad de propietarios.
- Es propietario en un edificio y está preocupado por las obras que se están haciendo al lado de su casa, pues cree que puede poner en peligro su edificio y producirle desperfectos.
- Es propietario en un edificio, y cree que la estructura puede tener algún problema, por lo que quiere que un técnico haga una inspección del edificio.
- Es propietario en un edificio, y manifiesta que la fachada está degradada habiendo riesgo de desprendimientos, por lo que quiere que un técnico haga una inspección del edificio.
- Es propietario en un edificio, y manifiesta que la fachada está degradada habiendo riesgo de desprendimientos, pero no se interviene porque hay desacuerdo entre los diferentes vecinos que conforman la comunidad de propietarios.
- Problemas diversos de humedades, ya sean provenientes de vivienda o edificio vecino, o por capilaridad, condensación, etc.
- Es propietario en un edificio de reciente construcción, y tiene diversos desperfectos. Manifiesta que el constructor no se quiere hacer cargo de la reparación de los mismos.
- Quiere comprarse un piso, y ha visto uno que le gusta, pero quiere estar seguro que la estructura está bien.
- Consultas generales sobre cemento aluminoso.

En bastantes de estas consultas, es suficiente ofrecer una respuesta consistente, sin ser necesario realizar inspección por parte del técnico municipal, mientras que en otras consultas sí es necesario realizar inspección. El criterio de decisión en esta materia se explica en Ruiz (2007).

II.2.6. Evolución del número de emergencias

En este apartado se consideran como emergencias a los colapsos de edificios y a los desalojos por lesiones de extrema gravedad, siempre en el marco del trabajo de campo. Se aprecia en la *Figura II.5* que el número de colapsos de edificios presenta un máximo en el año 1994 (6 colapsos), y en los primeros 4 años (periodo 1993-1996) se producen casi tantos colapsos como en el periodo de 9 años siguiente (periodo 1997-2005), y casi el triple de colapsos que en el periodo final de 5 años (periodo 2006-2010). El número de desalojos de edificios debido a la existencia de lesiones muy graves que suponían un riesgo para la integridad de los residentes en esos edificios presenta un máximo el año 2005 (8 desalojos).

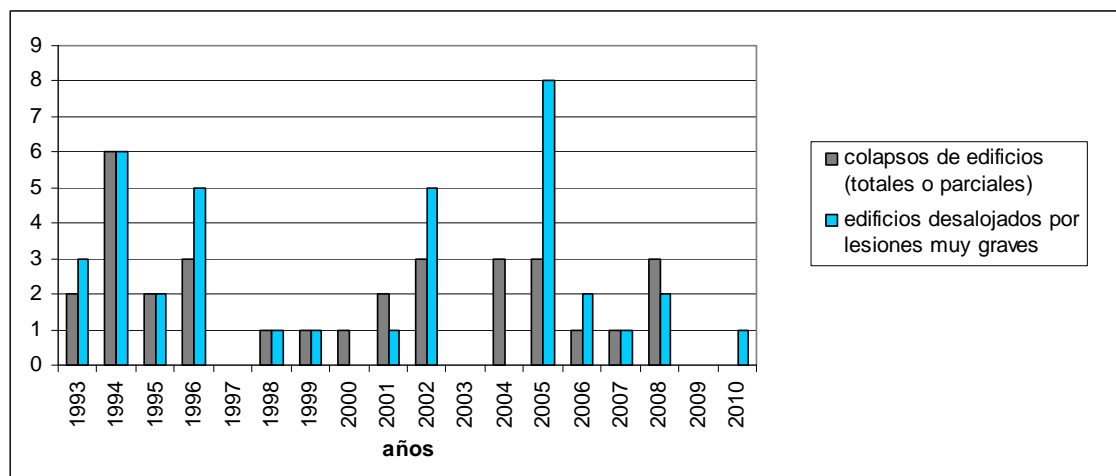


Figura II.5. Evolución del número de emergencias

Su tendencia general también es a reducir su número con el paso de los años. Así por ejemplo, en el periodo inicial de 4 años (periodo 1993-1996) se producen 4 veces más de desalojos que en el periodo final de 4 años (periodo 2007-2010) (16 desalojos versus 4 desalojos). De hecho, en el periodo final 2009-2010 no se produce ningún colapso y sólo un desalojo.

Esta tendencia general a ir reduciendo el número de emergencias se explica en parte por la labor del ayuntamiento enviando órdenes de ejecución (y haciendo su seguimiento administrativo correspondiente) a propietarios de edificios en mal estado. Hay que tener en cuenta, como se indica en la *Tabla II.1*, que se han realizado 1.111 órdenes de ejecución por parte del ayuntamiento en el periodo 1993-2010, lo que ha motivado que se intervenga terapéuticamente en 1.111 edificios en mal estado, lo que lógicamente ha disminuido el número de edificios con patologías graves. Análogamente, las campañas de concienciación que ha hecho el ayuntamiento han podido motivar a propietarios de edificios en mal estado a intervenir por propia iniciativa, sin ser necesaria la orden de ejecución.

II.2.7. Evolución del número de incendios y de explosiones de gas en edificios

En la *Figura II.6* se presenta la evolución en el tiempo de los dos parámetros analizados (incendios y de explosiones de gas en edificios). Se aprecia que esta evolución es básicamente aleatoria, pues su distribución en el tiempo no sigue ningún patrón que pueda ser explicado. Esto es lógico en parte que así sea, pues los casos de incendios y de explosiones de gas en edificios obedecen en parte a causas aleatorias (accidentes, imprudencias, casos provocados, etc.). También es cierto que tiene cierta incidencia el estado de conservación del edificio, de forma que en edificios en mal estado existe más probabilidad de que se produzca incendio o explosión de gas que en edificio en buen estado, aunque este incremento de probabilidad no se ha cuantificado en la tesis y es posible que no sea elevado.

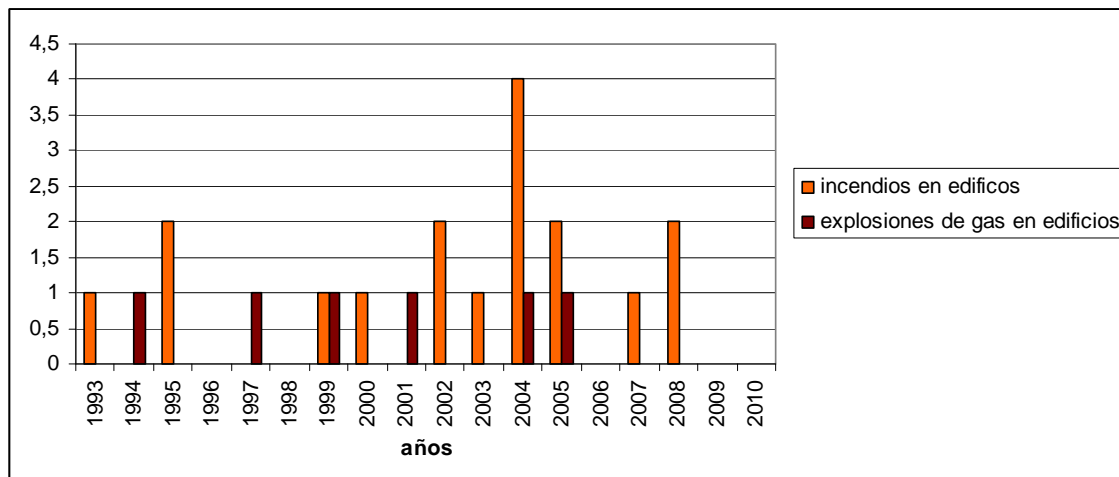


Figura II.6. Evolución del número de incendios y de explosiones de gas en edificios

II.2.8. Evolución del número de informes para expedientes de ruina

En la Figura II.7 se presenta la evolución del número de informes para expedientes de ruina. Queda de manifiesto la gran disminución de expedientes de ruina solicitados para tramitar, la cual cosa es un efecto lógico y esperado a partir de la modificación en junio de 2002 de la Llei d'Urbanisme de Catalunya, donde entre otras cosas se modificaban algunos aspectos a la hora de hacer las valoraciones en el marco de un expediente de ruina, de forma que con la modificación resulta mucho más difícil que un edificio esté en situación de ruina económica que con los criterios anteriores.

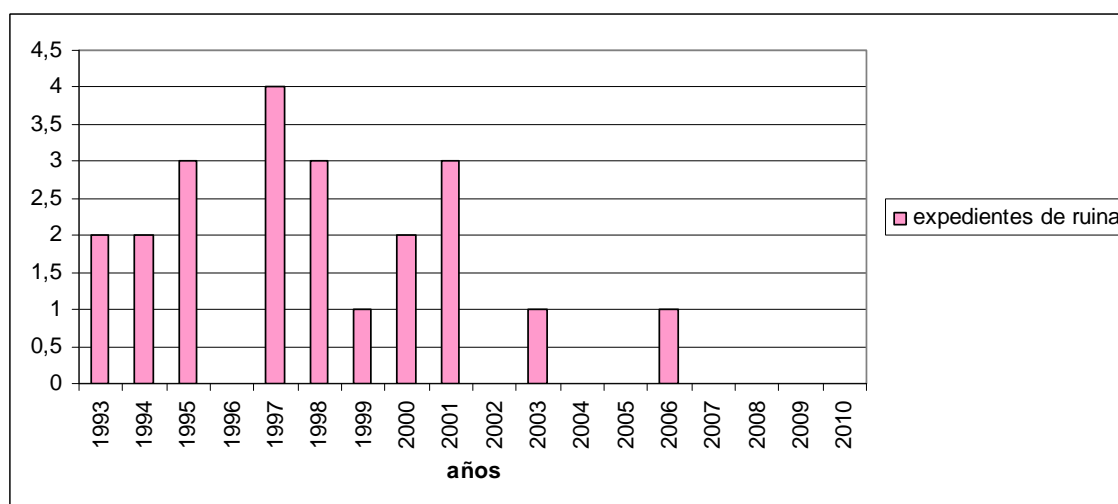


Figura II.7. Evolución del número de informes para expedientes de ruina

Este hecho ha producido que el número de propietarios que estén interesados en iniciar un expediente de ruina casi ha desaparecido, que es uno de los efectos que se buscaban con la modificación de los criterios de valoración. Y es que con los criterios anteriores a la modificación del año 2002, era bastante fácil que un edificio fuera calificado

en situación de ruina económica, la cual cosa facilitaba que se produjeran episodios de mobbing inmobiliario de los propietarios del edificio hacia los inquilinos (Ruiz, 2007).

II.3. ESTUDIO DEL EFECTO SUCESO DESENCADENANTE EN EL MARCO NORMATIVO Y EN EL MARCO SOCIOLÓGICO

II.3.1. Introducción

Se ha considerado relevante y útil realizar un estudio del posible efecto suceso desencadenante que se puede producir tanto en el marco normativo como en el marco sociológico.

Así, el objeto de esta sección es averiguar si determinadas normas son creadas o no a raíz de que sucedan una serie de eventos, frecuentemente traumáticos como accidentes o similar. Análogamente, en el ámbito sociológico se trata de averiguar si determinados comportamientos y reacciones sociales son generados o no a raíz de que sucedan una serie de eventos, también frecuentemente traumáticos. Este estudio es de utilidad, entre otras razones, para facilitar a las administraciones públicas la toma de decisiones para crear un marco normativo y de concienciación social, que sea favorable cara al adecuado mantenimiento de los edificios.

II.3.2. Estudio del efecto en el marco normativo

Aquí se va a estudiar si realmente se produce el efecto suceso desencadenante en el marco normativo, es decir averiguar si determinadas normas son creadas o no a raíz de que sucedan una serie de eventos, frecuentemente traumáticos. Para ello se ha realizado un estudio histórico de normas o decisiones surgidas a raíz de que sucedan una serie de eventos, enumerándose a continuación algunos casos significativos:

- Año 1802. El 30 de abril de ese año se produjo la rotura de la presa de Puentes, añadido a la rotura previa de diversos puentes en España. Esto propició la creación en noviembre de 1802 de la Escuela Especial de Caminos, Canales y Puertos.
- Año 1959. Se produjo el colapso de la presa Vega de Tera, lo que provocó 145 víctimas mortales. Poco después se creó el Servicio de Vigilancia de Presas, a través del cual todas las presas españolas debían ser sometidas a inspecciones periódicas y a un adecuado sistema de explotación. Este concepto es análogo a la ITE que se trata en el Capítulo 3 de la presente tesis.
- Año 1967. Se produjo en EEUU el colapso de un puente importante, lo que provocó más de 40 víctimas mortales. Ese año se creó el “Nacional Bridge Inspection Program (NBIP)” y el “Nacional Bridge Inventory”. Uno de los objetivos de estas medidas era realizar la inspección de todos los puentes en EEUU. Este concepto también es análogo a la norma ITE que se trata en el Capítulo 3 de la presente tesis.

- Año 2001. Se produjo un incendio en el túnel alpino de San Gotardo, en Suiza, iniciado por la colisión frontal de dos camiones pesados, uno de los cuales transportaba neumáticos. El fuego afectó a 13 camiones y 10 coches pereciendo en el siniestro 11 personas y 35 resultaron intoxicadas. Esto motivó que se creara una nueva norma de seguridad en túneles en materia de incendios. Cabe decir que otros 8 incendios se habían producido en este túnel desde el año 2000 sin pérdida de vidas (Fuente, 2004).

En el ámbito de los edificios en mal estado y el mantenimiento, también se produce el referido efecto, que queda ilustrado en los siguientes casos:

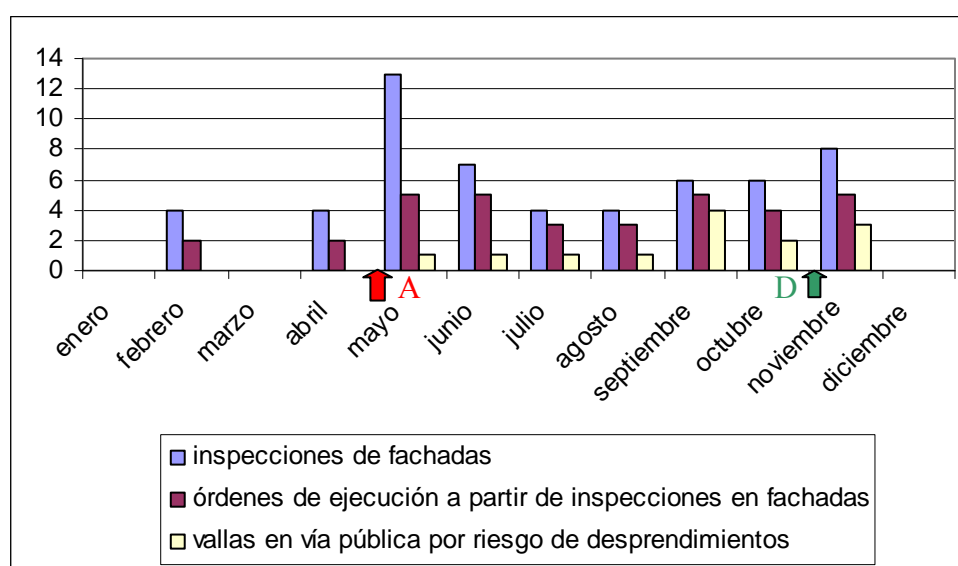
- Entre finales del año 1996 y principios del año 1998 se produjeron en Barcelona tres víctimas mortales por desprendimientos de fachada. En concreto, el 2 de octubre de 1996 murió una niña de tres años al caerle encima una baldosa del séptimo piso de un edificio en la calle Roger de Flor. El 6 de mayo de 1997 falleció una mujer de 37 años, al recibir el impacto de un cascote de una fachada de un inmueble de la calle Trafalgar cuando acompañaba a su hijo al colegio. Y el 22 de febrero de 1998 pereció una turista alemana de 56 años, al impactarle en la cabeza un elemento artificial de piedra de la fachada de 5 kg de peso, mientras paseaba por el céntrico Paseo de Gracia. Estos sucesos motivaron que el ayuntamiento de Barcelona elabora en el año 1998 una norma a través de la cual se obliga a que se revisen periódicamente las fachadas de los edificios de más de 15 años de edad.
- El día 16 de diciembre de 1998, en la calle Vigna di Jacobino, en Roma, se produjo el colapso de un edificio de viviendas, pereciendo en el siniestro 27 personas. Esta tragedia, que produjo un muy fuerte impacto social, junto con otros casos de colapsos de edificios debidos principalmente a fallos estructurales, motivó que el ayuntamiento de Roma creara una norma que obligara a los propietarios de los edificios a realizar inspecciones periódicas de los edificios, con una periodicidad de ocho años, a través del denominado *Fascicolo del fabbricato* (expediente del edificio)³¹.
- Año 2006. En Manresa (Barcelona) colapsan 12 edificios en tan sólo tres meses, a razón de aproximadamente uno por semana (Diputació de Barcelona, 2009). Este hecho motivó en gran medida que el año 2007 el ayuntamiento de Manresa aprobara una norma ITE.

II.3.3. Estudio del efecto en el marco sociológico

En este apartado se va a estudiar si realmente se produce el mismo fenómeno del suceso desencadenante en el marco sociológico, es decir averiguar si determinados comportamientos y reacciones sociales son generados o no a raíz de que sucedan una serie de eventos, también frecuentemente traumáticos. Así como en el anterior apartado el método utilizado se ha basado en realizar un estudio histórico de normas o decisiones surgidas a raíz de que sucedan una serie de eventos, en este apartado el método se basa en el trabajo de campo realizado por el doctorando en el periodo 1993-2010.

³¹ Esta norma y su grado de aplicación se ha explicado en el Capítulo 3.

En este método se estudia el comportamiento de la ciudadanía en el municipio de Vilanova i la Geltrú (Barcelona), que tiene 67.000 habitantes, en materia de edificios en mal estado y mantenimiento, y si este comportamiento experimenta algunas variaciones o no a causa de determinados sucesos. En primer lugar se estudia el comportamiento de la ciudadanía respecto al tema del estado de conservación de las fachadas, verificándose que, en general, la preocupación de la ciudadanía sobre este tema es muy baja. Pero que al producirse un accidente mortal por desprendimiento de fachada, esta preocupación aumenta mucho durante un tiempo. Se llega a esta conclusión a partir de los datos obtenidos del trabajo de campo en materia de avisos de ciudadanos sobre fachadas en mal estado, algunos de cuyos datos se presentan en la *Figura II.8*.



A: accidente mortal en Barcelona el 6 de mayo de 1997 debido a desprendimiento de fachada.

D: desprendimiento de fachada en Vilanova i la Geltrú el 26 de octubre de 1997, sin producir daños personales.

Figura II.8. Año 1997. Evolución mensual del número de inspecciones y órdenes de ejecución en materia de fachadas

En la *Figura II.8* también se presenta el número de veces que se han colocado vallas en la vía pública por riesgo de desprendimientos. Como se puede apreciar, en el mes de mayo de 1997 se produjo un gran aumento del número de inspecciones de fachadas. Como en el marco del trabajo de campo, las inspecciones se realizan a raíz de avisos de ciudadanos (a través de instancia o verbalmente) sobre el mal estado de una fachada, se deduce que el mes de mayo de 1997 hubo un gran aumento del número de avisos de ciudadanos sobre fachadas en mal estado.

Esto concuerda plenamente con la teoría del efecto suceso desencadenante en el marco sociológico, ya que como se ha dicho el 6 de mayo de 1997 se produjo un accidente mortal en Barcelona debido a desprendimiento de fachada. Este accidente, que tuvo una amplia cobertura en los medios de comunicación, produjo un fuerte impacto social, la cual cosa provocó que se incrementara mucho la preocupación de la ciudadanía respecto al estado de las fachadas, aumentando así muy notoriamente el número de avisos de ciudadanos sobre fachadas en mal estado.

Por tanto queda de manifiesto a partir de la *Figura II.8* que la preocupación de la ciudadanía respecto al estado de las fachadas en general es muy baja, y a partir del accidente mortal a causa de un desprendimiento esta preocupación aumenta mucho. También se observa que este estado de elevada preocupación se va reduciendo con el tiempo, con tendencia a volver al cabo de un tiempo al nivel general de preocupación muy bajo.

Otro aspecto de interés que se deduce de la *Figura II.8*, es que en mayo de 1997, si bien es cierto que hubo un muy gran aumento del número de inspecciones de fachadas debido a avisos de ciudadanos (13 inspecciones), también es cierto que el número de órdenes de ejecución y de veces que se colocaron vallas en la vía pública por riesgo de desprendimientos fue pequeño (5 i 1 respectivamente). Esto indica que buena parte de las fachadas inspeccionadas no tenían patologías graves, la cual cosa muestra que buena parte de los avisos de ciudadanos sobre fachadas en mal estado eran avisos infundados, fruto de un exceso de preocupación.

Así queda de manifiesto que el accidente que se produjo en Barcelona provocó un gran aumento de la preocupación de la ciudadanía sobre el estado de las fachadas, preocupación que se podía calificar de desmesurada o superior a lo recomendable, mientras que fuera del periodo de afectación por el accidente, la preocupación de la ciudadanía sobre el estado de las fachadas era muy baja o casi nula, inferior a lo recomendable. El 26 de octubre de 1997 se produjo un importante desprendimiento de fachada en Vilanova i la Geltrú, sin producir daños personales, lo que provocó un cierto aumento del número de avisos e inspecciones.

Cabe decir que, como cabía esperar, en los otros dos accidentes mortales que se produjeron en Barcelona el 2 de octubre de 1996 y el 22 de febrero de 1998, se produjo un efecto sociológico análogo al que se visualiza en la *Figura II.8*, es decir que a raíz de esos accidentes se produjo un fuerte incremento del número de inspecciones de fachada a raíz de avisos de ciudadanos, disminuyendo este efecto progresivamente hasta que pasadas unas cuatro semanas el efecto había desaparecido casi totalmente.

Realizando un análisis más amplio del efecto suceso desencadenante en el marco sociológico a partir del trabajo de campo del doctorando, analizando otros ámbitos diferentes al de fachadas, se llega a la conclusión que el efecto estudiado tiene las siguientes **características**:

- La intensidad y la duración del efecto es proporcional a la envergadura del suceso desencadenante. Es decir, si el suceso es un accidente mortal debido a un desprendimiento de fachada, el efecto sociológico es mayor y de mayor duración, que si el suceso es un desprendimiento de fachada que no ha producido daños personales. En este segundo caso el incremento de preocupación de la ciudadanía es claramente inferior y de menor duración que en el primer caso.
- El efecto es de tipo selectivo en base al tipo de suceso. Así por ejemplo, si el suceso ha sido que se han producido víctimas por el colapso de un edificio mientras se estaban haciendo obras en el edificio de al lado, se ha verificado que durante un tiempo se produce un fuerte incremento de avisos de ciudadanos que manifiestan

estar muy preocupados por las obras que les están haciendo al lado de casa. En cambio, si el suceso es un accidente mortal debido a un desprendimiento de fachada, se produce un fuerte incremento de avisos de ciudadanos que manifiestan estar muy preocupados por el estado de la fachada.

Cabe decir que este segundo efecto de tipo selectivo, también se da en algún caso en el marco normativo. Un ejemplo es el caso del ayuntamiento de Barcelona que como se ha visto elaboró en el año 1998 una norma a través de la cual se obliga a que se revisen periódicamente las fachadas de los edificios de más de 15 años de edad, la cual cosa se hizo como se ha visto a raíz de tres accidentes mortales por desprendimiento de fachada ocurridos en un corto periodo de tiempo. En cambio, si el suceso hubiera consistido en tres víctimas debidas a tres colapsos de forjados acaecidos en un breve periodo de tiempo, es razonable deducir que el ayuntamiento de Barcelona no hubiera elaborado una norma para revisar las fachadas, sino que probablemente hubiera elaborado una norma para revisar la estructura de los edificios, o tal vez la totalidad del edificio (como de hecho pasa en la ITE).

II.3.4. Conclusiones

Como se ha visto, efectivamente se produce el efecto suceso desencadenante tanto en el marco normativo como en el marco sociológico, y se han visto las características principales de este efecto. En el marco sociológico ha quedado de relieve que la preocupación y concienciación general de la ciudadanía respecto al mantenimiento de los edificios y patología es muy bajo o casi nulo, claramente por debajo de lo que sería recomendable y óptimo. En cambio cuando se produce un suceso como un accidente con víctima por un desprendimiento de fachada o un colapso de edificio, se produce durante un tiempo un notorio incremento de preocupación sobre este tema, preocupación que es superior a lo recomendable.

El escenario que sería deseable es que la ciudadanía tuviera un nivel de preocupación y concienciación general sobre mantenimiento de edificios y patología adecuado y constante en el tiempo, y no fuera como se ha detectado que es en el presente estudio, es decir, muy bajo o casi nulo en general, y desmesuradamente alto durante un tiempo cuando se produce un accidente o suceso análogo. Análogamente también sería deseable que se crearan las normas que en cada momento son adecuadas, sin necesidad de que sucedan accidentes que evidencien la necesidad de dichas normas. Para conseguir este escenario deseable, es de gran utilidad el sistema ITE tratado en el Capítulo 3 de la tesis.

II.4. CRITERIOS DE INTERVENCIÓN EN INSPECCIÓN Y DIAGNOSIS DE EDIFICIOS

II.4.1. Introducción

A partir del trabajo de campo en materia de diagnóstico de edificios, presentado y analizado en la Sección II.2, se obtienen los criterios sobre inspección y diagnóstico que se explican en esta sección. El orden de exposición se esquematiza en la *Figura II.9*,

comenzando de más general para ir progresando a más particular, lo que facilita la comprensión de la materia expuesta.

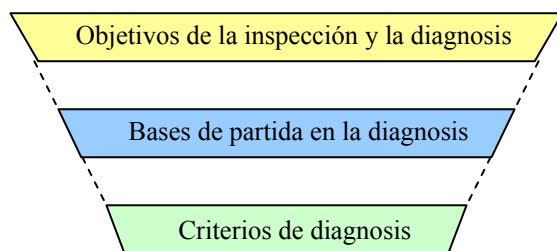


Figura II.9. Desarrollo de la Sección II.4

II.4.2. Objetivo de la inspección y la diagnosis

II.4.2.1. Introducción

Antes de ver cómo se debe intervenir y los criterios que se deben utilizar para hacer la inspección y la diagnosis, se debe conocer cuál es el objetivo a conseguir al hacer la inspección, qué se quiere saber. Una vez determinado este punto, es cuando se verá cómo proceder para conseguir el objetivo. El objetivo general es que el técnico que realiza la inspección y posterior diagnosis de una construcción sea capaz de determinar los siguientes aspectos:

- V. Realizar una descripción detallada de las patologías existentes.
- VI. Determinar su grado de gravedad y sus causas.
- VII. Si la gravedad del caso lo requiere, determinar las medidas urgentes que se deben tomar, tales como apuntalamientos, desalojos, etc.
- VIII. El informe debe ser comprensible para personas sin formación técnica.

II.4.2.2. Nivel de fiabilidad del diagnóstico

Lo referido en el apartado anterior es el objetivo general, pero el nivel de fiabilidad del diagnóstico es función en buena parte del tiempo dedicado a la inspección, entre otros parámetros. Para simplificar se pueden establecer tres niveles de inspección, que son los siguientes:

- Inspección de nivel **superficial**. Se trata de una inspección organoléptica donde se dedica poco tiempo.
- Inspección de nivel **intermedio**. En ella se dedica más tiempo que en la anterior, y en la inspección sigue siendo básicamente organoléptica, todo y que se puede incluir alguna cata o ensayo.
- Inspección o grupo de inspecciones de nivel **intenso**. Se dedica gran cantidad de

tiempo, y puede estar constituido por un conjunto de inspecciones sucesivas. Aparte de ser inspecciones organolépticas, se incluyen todo tipo de catas, ensayos y monitorizaciones que se estimen oportuno.

Para ser más precisos se puede establecer una escala de 0 a 10, de forma que las inspecciones de nivel de 1 a 3 serían consideradas de nivel superficial, de nivel 4 a 7 serían consideradas de nivel intermedio, y de nivel 8 a 10 serían consideradas de nivel intenso. Esta escala sería de concepción análoga a la que se describe en el Capítulo 4 sobre el grado de gravedad de un elemento constructivo. Lógicamente, a mayor de la inspección, mayor fiabilidad del diagnóstico, en haber dedicado más tiempo, y también mayor coste económico. Dependiendo del caso, será idónea una inspección de un nivel u otro.

II.4.2.3. Análisis de la relación fiabilidad del diagnóstico-tiempo de inspección

En este apartado es oportuno incluir razonamientos sobre la relación existente entre la intensidad de la inspección y por tanto la fiabilidad del diagnóstico, con el tiempo dedicado a hacer la inspección. Y es que a diferencia de lo que pudiera parecer a través de un primer análisis simple, esta relación no es lineal en el tiempo de forma indefinida. Es decir, que en una inspección en que se haya dedicado el doble de tiempo que en otra inspección, el grado de fiabilidad no tiene por qué ser el doble, sino que puede ser inferior, dependiendo del tiempo dedicado³². Este razonamiento queda reflejado en la *Figura II.10*.

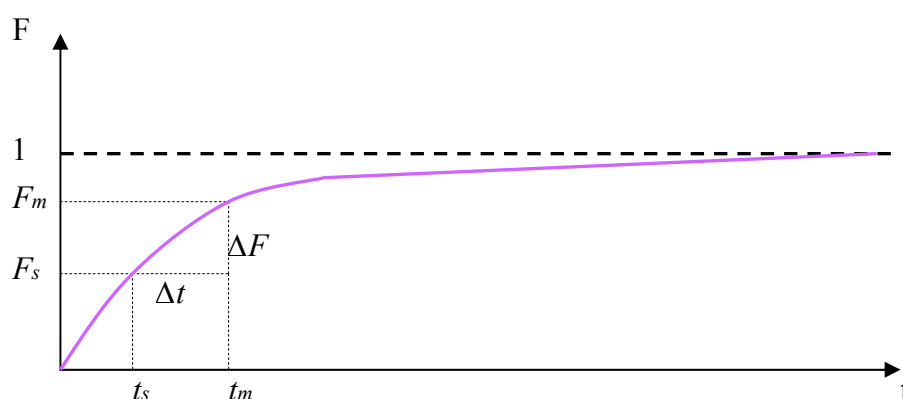


Figura II.10. Relación grado de fiabilidad del diagnóstico (F) – tiempo empleado en la inspección (t)

Convengamos que $F = 0$ significa que la fiabilidad del diagnóstico es nula, y que $F = 1$ significa que la fiabilidad del diagnóstico es total, por tanto $F \in [0,1]$. Igualmente adoptemos la notación $t_s =$ tiempo dedicado a inspección de nivel superficial; $t_m =$ tiempo dedicado a inspección de nivel intermedio.

Como se desprende de la *Figura II.10*, inicialmente la relación entre el tiempo dedicado a la inspección y la fiabilidad del diagnóstico sí es sensiblemente lineal, pero a partir de cierto punto, la gráfica va adoptando una forma asintótica, de manera que un gran

³² Se entiende que estas dos inspecciones se refieren al mismo edificio.

incremento de tiempo dedicado a la inspección aporta un pequeño incremento de la fiabilidad del diagnóstico.

Igualmente se visualiza que una inspección de nivel intermedio es adecuado para un sistema ITE, ya que para un determinado incremento de tiempo (Δt) respecto a la inspección de nivel superficial (t_s) todavía se produce un apreciable incremento de fiabilidad del diagnóstico (ΔF). Es decir, que se tiene una fiabilidad del diagnóstico (F_m) apreciable, a un coste todavía razonable.

La relación entre el coste de la inspección y el tiempo dedicado a la inspección sí que es sensiblemente lineal. Así en una inspección en que se haya dedicado el doble de tiempo que en otra inspección, el coste será el doble, ya que los honorarios que cobra el técnico van fundamentalmente en función del tiempo dedicado. Cabe decir que a esta premisa general, puede haber ciertas variaciones de la linealidad del incremento de coste, a la baja, a partir de tiempos muy largos, ya que para un trabajo en el que el técnico deba dedicar un número de horas excepcionalmente grande, es posible que el precio/hora que cobre el técnico sea inferior al utilizado para otros trabajos de menor duración.

En la *Figura II.10* no se dan valores numéricos a t_s y t_m , ya que se trata de una gráfica que expresa la relación en el caso general. Y es que partiendo del supuesto general que se trata de la inspección de un edificio, no es igual t_s en la inspección de un pequeño edificio unifamiliar, que en un edificio plurifamiliar de grandes dimensiones. En este segundo caso, aun tratándose de una inspección de nivel superficial, el tiempo dedicado a la inspección t_s sería claramente superior al primer caso enunciado, de pequeño edificio unifamiliar. Esta gráfica sí tendría valores numéricos concretos para casos particulares, es decir, el caso de la inspección o inspecciones de un edificio concreto.

El método empleado para obtener esta gráfica se basa en el trabajo de campo en materia de diagnosis de edificios. En cada caso evaluado, el método ha consistido en realizar una inspección o grupo de inspecciones de un edificio concreto, hasta llegar al punto de fiabilidad de diagnóstico casi total, esto es $F \approx 1$. En este proceso, se iban tomando tiempos t_i y grados de fiabilidad del diagnóstico F_i , desde que se iniciaba la inspección, es decir, $t_0 = 0$ y $F_0 = 0$, hasta el momento final en que $F \approx 1$, y en este proceso se iban tomando diferentes valores de (t_1, F_1) , (t_2, F_2) , etc.

Hay que tener en cuenta que para dar los valores concretos de los diferentes grados de fiabilidad del diagnóstico F_1, F_2 , etc. con cierto criterio, es necesario conocer primero cuál es el diagnóstico de fiabilidad casi total del edificio, esto es $F \approx 1$. Y es que para un t_i determinado, para dar el valor F_i correspondiente, si bien sabemos que $F \in [0,1]$, para darle un valor concreto se necesita saber cuáles son las características del diagnóstico para $F \approx 1$, para tener así el necesario marco de referencia para establecer la comparación, y así poder dar el valor adecuado de F_i .

Por tanto la forma de proceder ha sido realizar la inspección o grupo de inspecciones del edificio concreto hasta el momento final en que $F \approx 1$, y en este proceso se actuaba como en una inspección de diagnosis ordinaria, tomando abundantes datos en la libreta de campo, y tomando diferentes t_i que se iban apuntando en la parte correspondiente de la libreta. Posteriormente, cuando se había llegado a la diagnosis casi total, $F \approx 1$, es

cuando se daban los diferentes valores F_i para los diferentes t_i , comparando las características de la diagnosis en los diferentes t_i con características de la diagnosis para $F \approx 1$.

Cabe decir que hasta ahora sólo se ha considerado F como una función de t , es decir $F = F(t)$, pero si bien es cierto que la fiabilidad del diagnóstico depende en buena medida del tiempo dedicado al mismo, también es cierto que la fiabilidad del diagnóstico depende de otros parámetros. Entre algunos de estos parámetros adicionales están la experiencia (e) que tiene el técnico en diagnosis, y formación (f) que tiene el técnico en diagnosis, de manera que en realidad $F = F(t, e, f)$. En efecto, es de esperar que un técnico con elevada experiencia en diagnosis precise unos tiempos de inspección t_i inferiores que un técnico con poca experiencia en diagnosis, para conseguir los mismos grados de fiabilidad en el diagnóstico F_i . Conviene resaltar no obstante, para no perder de vista el marco general, que un técnico con elevada experiencia en diagnosis, si dedica poco tiempo a la inspección la fiabilidad del diagnóstico será baja.

Análogamente, un técnico con poca o nula formación específica en diagnosis posiblemente tendrá más dificultades en realizar el diagnóstico que un técnico con elevada formación específica en diagnosis, lo que se traducirá en alteraciones en la *Figura II.10*. De hecho puede darse el caso que un técnico con poca o nula formación específica en diagnosis no pueda conseguir un diagnóstico de elevada fiabilidad, por mucho tiempo que dedique a la inspección. Por poner un ejemplo que permita ilustrar lo referido, supongamos el caso de un edificio con estructura horizontal de vigas de madera, algunas de las cuales padecen un ataque biótico de termita del tipo *Reticulitermes luccifugus* Rossi, que ha producido masivas pérdidas de sección resistente.

Si el técnico que interviene no tiene una formación adecuada en patología de la madera, que le permita entre otras cosas diferenciar a través de una inspección organoléptica entre las diferentes causas de ataque biótico que puede padecer la madera, dicho técnico no podrá saber que las vigas afectadas lo están por ataque de termita, por mucho tiempo que dedique a la inspección. Este aspecto queda contrastado por el trabajo de campo, a través de la revisión de numerosos informes elaborados por otros técnicos en materia de patología de madera, bastantes de los cuales tenían errores de diagnosis, y a través del trabajo del doctorando como profesor en multitud de cursos, en los que quedaba de manifiesto que los técnicos alumnos al final del curso eran capaces de diferenciar a través de una inspección organoléptica entre las diferentes causas de ataque biótico que puede padecer la madera, mientras que al principio del curso no sabían realizar esta diferenciación.

II.4.2.4. La máxima precisión

Genéricamente hablando, en el trabajo de inspección y diagnosis se debe tratar de buscar la máxima precisión en las decisiones que se tomen y en las medidas terapéuticas que se propongan. Estas no deben ser insuficientes a la entidad de la lesión existente, pero a la vez tampoco deben desmesuradamente importantes y por tanto desmesuradamente costosas a la envergadura de la patología. La misión del técnico será proponer la solución óptima al caso en cuestión. Así por ejemplo, cuando haya un peligro inminente para la

estabilidad de un edificio, se debe ordenar claramente su desalojo, aunque esto pueda producir trastornos sociales (trasladar familias que no tienen dónde ir, etc.).

Por otro lado, y aquí es donde más valor tiene la experiencia, conocimientos y profesionalidad del técnico, se debe de evitar en la medida de lo posible el tomar medidas traumáticas o desproporcionadas cuando el grado de gravedad de las lesiones no lo requiera. Evidentemente, el desalojo de una vivienda y con más razón si se trata del desalojo de un edificio entero con bastantes viviendas, es una decisión que no debe tomarse a la ligera ni precipitadamente, por los trastornos sociales que produce.

En una línea de razonamiento análoga, el tratamiento terapéutico a realizar debe ser también el óptimo, es decir que sea de entidad proporcional a la entidad de la patología. Así, lo óptimo serán tratamientos de entidad leve y por tanto en general económicos en casos de patologías de gravedad leve, a intervenciones más intensas y costosas en casos más graves, y en casos extremos puede ser que la solución óptima sea la sustitución física. Para facilitar la toma de decisiones en los casos explicados es de utilidad, como se ha visto, el uso de una **escala de gravedad**.

II.4.2.5. Al lado de la seguridad

A estas reflexiones respecto a buscar la precisión y el óptimo en las medidas que se proponen, hay que añadir que buscar la precisión y el óptimo, en efecto, pero con la idea de quedar al lado de la seguridad. Ciertamente, si se comete error en la terapéutica propuesta, es preferible que este error sea por exceso en las medidas adoptadas, que porque estas sean insuficientes. Igualmente, respecto a medidas de urgencia, es preferible que el error sea hacer desalojar un edificio innecesariamente, error grave sin duda, que no decretar el desalojo inmediato en caso de peligro inminente, siendo este último error, obviamente, mucho más grave.

II.4.3. Bases de partida

Las bases de partida que hay que tener en cuenta para realizar una correcta diagnosis y evaluación de daños son las siguientes:

II.4.3.1. Importancia de la diagnosis

La fase diagnosis es fundamental para proponer acertada terapéutica, ya que si no se realiza una correcta diagnosis posiblemente la terapéutica será inocua o incluso perjudicial, agravando la lesión. De esta manera se deduce claramente que si no se sabe lo que pasa, es decir no se saben las causas que han producido la patología, mejor no tocar nada, pues en caso contrario, si se interviene sin saber las causas que han producido la patología posiblemente no servirá de nada o incluso se agravará la lesión.

II.4.3.2. Variada casuística

La causa del daño rara vez es única, ya que lo habitual es que una lesión sea debida a varias causas. Igualmente, un pequeño porcentaje de las causas produce la mayor parte del daño (principio de Pareto). Este reducido número de causas es lo que se denomina

núcleo de las causas (Aguado *et al.*, 2003). Así por ejemplo, supongamos un caso de una lesión, la cual es debida a diez causas diferentes. De estas diez causas, supongamos que dos de ellas producen el 85% del daño. Estas dos causas formarían el núcleo de las causas, mientras que las otras ocho serían causas secundarias.

En este apartado conviene también incluir que no hay dos edificios iguales, siendo este aspecto importante, y es que aunque haya dos edificios aparentemente idénticos, es muy posible que tengan diferencias y el cuadro patológico que presenten puede ser completamente diferente.

II.4.3.3. Ausencia de relación biunívoca

En general no hay una relación biunívoca entre causa y daño. Esto quiere decir por un lado que un daño puede ser debido a varias causas, y a la inversa, que una sola causa puede dar origen a varios daños. Para ejemplificar lo primero se explica un caso extraído del trabajo de campo, en el cual se trata de una grieta de traza sensiblemente oblicua en un tabique de planta primera. Después de observar con detenimiento la grieta y el entorno se llega a la conclusión que la misma es debida a un conjunto de causas diferentes que se solapan entre sí, que son las siguientes:

- Lesión de aplastamiento en la pared medianera de tapia que produce un descenso de algunas partes del edificio.
- Intenso ataque térmico en las vigas de madera del forjado inferior, la cual cosa ha provocado que este haya descendido verticalmente.
- Pérdida de consistencia en el terreno que provoca asientos diferenciales en el edificio.

Es decir, que la grieta de este caso real es debida a tres causas diferentes que se solapan entre sí. Para ejemplificar lo segundo se explica otro caso extraído del trabajo de campo, en el cual existe una intensa y persistente abundancia de agua en el terreno debido a la rotura de un conducto de alcantarillado, lo cual es una causa. Y esta causa provoca diversos daños en el edificio, que son los siguientes:

- Humedades de capilaridad en las paredes a nivel de planta baja.
- Proceso de pérdida de consistencia del terreno, que provoca asientos diferenciales en el edificio, la cual cosa provoca grietas diversas.
- Las humedades de capilaridad van produciendo una lesión de aplastamiento en la pared medianera de tapia.
- El hecho que haya humedades especialmente intensas en ese edificio, produce que las termitas de una colonia cercana seleccionen dicho edificio como fuente de alimentación, atacando las vigas de madera, mientras que en otros edificios cercanos donde no hay estas humedades no hay presencia de termita.

Es decir, que una sola causa, la existencia de intensa y persistente abundancia de agua en el terreno, ha sido origen de diversos daños.

II.4.4. Criterios de diagnosis

Se explican a continuación los principales criterios que debe seguir el técnico para hacer la inspección y la diagnosis de edificios.

II.4.4.1. Observación detallada

Un criterio necesario para hacer la inspección es ser muy observador, ya que es crucial observar con detenimiento las patologías y su entorno. En ocasiones un detalle aparentemente sin importancia, es la clave para saber las causas de la lesión y su grado de gravedad. Este es uno de los numerosos aspectos que asemejan la labor del técnico que diagnostica edificios con la labor del médico y del detective.

Para ilustrar se pone un ejemplo extraído del trabajo de campo, en el que realizando la inspección de un edificio antiguo, al ir mirando con detenimiento, entre otras cosas, el suelo, se descubre un pequeño trozo de material de color marronoso, de unos 5mm de longitud. Al cogerlo con la mano, observarlo, y deshacerlo con los dedos, se comprueba que es el característico material de composición parcialmente terrosa, síntoma inequívoco de ataque de termita del tipo *Reticulitermes luccifugus* Rossi (Ruiz, 2012), y que se visualiza en la *Figura II.11*.



Figura II.11. Imágenes de restos de material en el suelo, que indican que se ha producido ataque de termita subterránea en la estructura de madera

Es decir, que sólo viendo y palpando ese pequeño elemento que estaba en el suelo, insignificante y aparentemente irrelevante, ya se sabe con certeza que en ese edificio hay o ha habido ataque de termita. Y eso sin ver las vigas que están ocultas por falsos techos. Y al diagnosticar con seguridad que hay ataque de termita, consecuentemente se propone hacer catas en los falsos techos para ver las vigas, a pesar de que los falsos techos están aparentemente intactos. Y se descubre que hay varias vigas con sus apoyos o cabezas destrozadas, con grave riesgo de colapso. Este tipo de casos han sido numerosos en el marco del trabajo de campo realizado por el doctorando, y en algunos de ellos algún técnico había realizado una inspección previamente sin detectar nada absolutamente y concluyendo que la estructura estaba en perfectas condiciones, cuando la realidad es que existía un grave riesgo.

Ciertamente, si un técnico hace una rápida y despreocupada inspección, donde si mira al techo lo único que ve son unos falsos techos en buen estado, es muy probable que le pase totalmente inadvertida la muy grave lesión existente en algunas vigas. Se podrían poner innumerables ejemplos en que pequeños indicios son clave para diagnosticar lo que le pasa al edificio.

Otros indicios que muestran ataque de termita son los carriles termíticos (*Figura II.12*), los conos termíticos (*Figura I.13*) y las construcciones denominadas “nidos de resistencia” (*Figura II.14*), (Ruiz, 2012).



Figura II.12. Imágenes de carriles termíticos



Figura II.13. Imágenes de conos termíticos

En la última imagen de la *Figura II.13*, el cono termítico ha sido extraído de la viga por el doctorando, pudiéndose apreciar que está hueco por dentro.



Figura II.14. Imágenes de construcciones termíticas del tipo “nido de resistencia”

II.4.4.2. Capacidad de deducción y diagnóstico diferencial

Tener y utilizar una elevada capacidad de deducción, ya que todo proceso de diagnóstico implica realizar razonamiento lógico y deducción. Con frecuencia se debe utilizar el método de diagnóstico diferencial, método utilizado comúnmente en el campo de la medicina para diagnosticar enfermedades.

Explicado de forma simplificada, el método consiste en que a partir de los síntomas que tiene el paciente, el médico en base a sus conocimientos elabora una lista con todas las posibles enfermedades que pueden producir esos síntomas. Para conocer cuál es la enfermedad correcta que produce esos síntomas a ese paciente concreto, el médico realiza una serie de ensayos (analíticas o pruebas de otro tipo). De estos ensayos quedan descartadas varias enfermedades de la lista, pues no coinciden las características de esas dolencias con los resultados obtenidos en los ensayos. Y este procedimiento de ir realizando diferentes ensayos se va repitiendo hasta que, por eliminación, queda en la lista sólo la enfermedad o causa correcta en ese paciente concreto.

Este método también se debe utilizar con frecuencia en diagnóstico de patología de la construcción. Para ilustrar se pone un ejemplo extraído del trabajo de campo, en el que realizando la inspección de un edificio, en un tabique de planta primera se aprecia una grieta de traza sensiblemente oblicua, de 0,7mm de grosor. Las causas que han podido producir esa grieta son numerosas. Por eso, a través de ir observando otras partes del edificio y de su entorno, varias de las causas posibles van quedando descartadas, hasta que finalmente, por eliminación, queda la causa o causas correctas que han producido esa grieta (en este caso una flecha del forjado de la planta inferior).

II.4.4.3. Ausencia de ideas preconcebidas

Es importante tener la mente abierta y no tener ideas preconcebidas sobre la naturaleza del posible problema que tenga la construcción, ya que en ocasiones, la causa de una patología o un siniestro puede ser lo que menos se espere inicialmente. Así por ejemplo no es adecuado realizar la inspección esperando encontrar que la causa de las grietas sea, por poner un ejemplo, un asiento diferencial sólo por el hecho de que el técnico que realiza la diagnosis sea un experto en geotecnia y mecánica de suelos.

Nuevamente, para ilustrar se pone un ejemplo extraído del trabajo de campo, de los numerosos en los que ha intervenido y demuestran la referida premisa. El caso era un aviso por colapso de falso techo de un importante edificio público, un importante Museo de estilo neoclásico construido en el siglo XIX.

Cabe decir que en el marco del trabajo de campo, se ha intervenido en numerosos casos de colapsos de falsos techos de yeso y cañizo. En casi todos, después de analizar los restos, y con analizar se quiere decir mirar con detalle y tocar, es decir nada fuera de una inspección organoléptica, se llegaba a la clara conclusión que la causa principal del siniestro había sido un intenso ataque de termita subterránea del tipo *Reticulitermes luccifugus* Rossi, que había destrozado el cañizo.

Como en los falsos techos de yeso y cañizo, el cañizo es el que da la resistencia a tracción y flexión, al desaparecer el cañizo lógicamente el falso techo colapsa. Es decir, que en casi todos los casos de colapsos de falsos techos del material referido en que ha intervenido el doctorando en el marco del trabajo de campo, la causa principal del colapso había sido ataque de termita subterránea. Sería un gran error del patólogo el que, por la casuística referida, al tener que intervenir en un nuevo caso de colapso de falso techo de yeso y cañizo, se tuviera la idea preconcebida de que seguro que la causa será también ataque de termita. Sería gran error, porque en ese nuevo caso podría ser que la causa sí fuera termita, o no. Podría ser una causa totalmente diferente e inesperada.

En el ejemplo que se explica del Museo, el doctorando analizó (organolépticamente) los abundantes restos del falso techo que había por el suelo, mirando con detenimiento y tocando numerosos trozos de cañizo. Todos estaban en perfecto estado, sin ni el más mínimo indicio de ataque termítico, ni de ningún otro agente biótico. Es decir, que en ese momento se seguía sin saber por qué había colapsado el falso techo, pero se había hecho algo importante: se habían descartado a los principales “sospechosos” habituales, es decir que la causa no era ataque de termita ni de otros agentes bióticos. En este caso concreto, aplicando el método de diagnóstico diferencial se encontró la causa del siniestro.

Cabe decir que si se hubiera actuado teniendo ideas preconcebidas, y por el hecho de que se trataba de un colapso de un falso techo de yeso y cañizo se hubiera deducido automáticamente que la causa era un ataque de termita, se hubiera cometido un grave error. Y es que en caso que realmente un falso techo haya sido afectado por termita, uno de las intervenciones terapéuticas a realizar es un tratamiento químico de toda la madera, para protección frente a agentes bióticos, o un tratamiento con inhibidores de la síntesis de la quitina (CSI). Y dichos tratamientos, para un edificio del tamaño y características como el del ejemplo, de muy grandes dimensiones, son muy caros y totalmente innecesarios, como se ha visto.

II.4.4.4. Consideración de elementos no estructurales

A la hora de evaluar el posible riesgo que puede haber para los usuarios de un edificio, no se deben tener en cuenta únicamente los elementos estructurales, ya que puede ser que la estructura esté razonablemente bien, pero que haya grave riesgo para los usuarios del edificio debido a otras razones, principalmente el mal estado y consiguiente riesgo de caída de elementos constructivos no estructurales (falsos techos, tabiques, barandillas, etc.).

El ejemplo anterior del Museo sirve también para ilustrar este punto, ya que el falso techo del Museo estaba situado a una altura de 8 m. Además, como se sabe, este tipo de falsos techos de yeso y cañizo suelen ser de gran grosor, es decir, tienen un peso específico considerable. Por tanto, la fuerza del impacto de este falso techo al caer al suelo es muy elevada. Para tener una idea de la magnitud de la fuerza de impacto se utiliza el hecho que en la sala donde se produjo el siniestro había estanterías metálicas, las cuales quedaron destrozadas, completamente deformadas y retorcidas por la fuerza del impacto, la cual cosa muestra gráficamente la gran magnitud de dicha fuerza de impacto. Por suerte no había ninguna persona en dicha sala en el momento del colapso, ya que si por desdicha hubiera

alcanzado la caída de este falso techo a una persona se hubiera producido con gran probabilidad víctima mortal. Por lo tanto queda de manifiesto la importancia que tiene también la revisión de elementos no estructurales, como un falso techo, a la hora de evaluar el riesgo que puede haber para los usuarios del edificio.

II.4.4.5. La fachada

Durante la inspección conviene empezar revisando la fachada o fachadas del edificio antes de entrar al interior del edificio, aunque la razón de la inspección sea por ejemplo un aviso por degradación de un forjado. Existen principalmente dos razones que demuestran que es procedente actuar de esta manera. La primera es que puede haber en la fachada algún elemento fuertemente degradado y haya riesgo de desprendimientos, siendo un peligro para los viandantes. Si se da esta circunstancia, el técnico debe ser capaz de detectar el problema y proponer las medidas que sean convenientes, aunque como se ha dicho el aviso no fuera por mal estado de fachada, sino por mal estado de un forjado.

La segunda es que de la observación detallada de la fachada, para lo cual resulta de gran utilidad el uso de prismáticos, se pueden obtener numerosas pistas e indicios que pueden ayudar a realizar el diagnóstico de elementos del interior del edificio. Un ejemplo de lo referido aquí, extraído de diversos casos análogos incluidos en el marco trabajo de campo realizado por el doctorando, son los casos de fachadas de edificios antiguos observadas con detenimientos con prismáticos. Y en el dintel de madera de una ventana se detectan los inequívocos indicios de ataque de termita del tipo *Reticulitermes luccifugus* Rossi (Ruiz, 2012). Es decir, que en estos casos, ya sólo observando con detenimiento la fachada se detecta que hay ataque de termita en el edificio.

De forma más general, a través del trabajo de campo se ha constatado que una fachada en mal estado suele ser síntoma de que el interior del edificio está degradado, y al revés, una fachada en buen estado suele ser síntoma que el interior del edificio está bien, de manera que nuevamente, observando la fachada se obtienen informaciones sobre el estado del interior del edificio. Hay que señalar no obstante que en el trabajo de campo se han detectado algunas excepciones a esta premisa general, detectando algunos edificios con la fachada en buen estado y en cambio en el interior había lesiones estructurales graves, y al revés, edificios con las fachadas muy degradadas, que en el interior tenían deterioramientos de grado sólo moderado.

II.4.4.6. Las preguntas

En general resulta muy adecuado hacer preguntas a los usuarios del edificio, pues esta es una fuente de valiosa información ya que con frecuencia es fundamental el conocer la historia y evolución de la patología así como la historia del edificio (si se realiza cierto mantenimiento y se hace un uso correcto del inmueble, o todo lo contrario, ningún mantenimiento, o si se han hecho obras de envergadura años después de la construcción del edificio, etc.).

Hay que tener en cuenta, no obstante, que si bien estas informaciones suelen ser de gran ayuda, en ocasiones, debido a razones diversas, pueden ser parcialmente incorrectas o, incluso totalmente falsas. Para ilustrar se pone un ejemplo extraído del trabajo de campo,

de los numerosos en los que ha intervenido y demuestran la referida premisa. En el caso usado como ejemplo se estaba realizando el derribo de un edificio, y los usuarios del edificio colindante decían que tenían grietas y que estas eran nuevas, apareciendo a raíz del derribo, cuando en realidad las grietas eran antiguas, la cual cosa se verificó a través de la observación minuciosa de las grietas.

Estas informaciones falsa en ocasiones puede que las digan de forma premeditada, para que les arreglen las grietas los que hacen la obra en la finca colindante. O puede que lo digan sinceramente, ya que antes no se fijaban y desde que se inició la obra al lado están seriamente preocupados por la estabilidad de su edificio y se fijan mucho más, viendo las grietas y pensando que son nuevas, cuando en realidad hace bastante tiempo que las grietas existían.

II.4.4.7. Aspectos de campo

En este apartado se hacen consideraciones sobre los siguientes aspectos: fotos, catas, muestras, notas, escala de gravedad y fichas. Así, es importante hacer fotos de las zonas que se inspeccionan, la cual cosa ayuda para hacer la diagnosis y para realizar posteriormente informes y dictámenes, además de hacerlos más ilustrativos.

La obtención de información in situ debe basarse en el principio de “mínimo número de catas para obtener el máximo de información”. En ocasiones puede interesar también recoger alguna muestra, por ejemplo en el caso que se sospeche que existe presencia de cemento aluminoso, para llevarla a analizar a laboratorio. Se debe seguir el principio ya referido de mínimo número de ensayos para obtener el máximo de información.

Es necesario tomar abundantes datos y notas sobre el edificio, las patologías y su entorno, las cuales son de gran ayuda para realizar el diagnóstico y para realizar posteriormente informes y dictámenes. En algunos casos puede resultar de gran utilidad realizar esquemas y croquis, ya que puede clarificar notablemente para determinar la causa de una lesión el observar la sección del edificio, por ejemplo haciendo croquis de la situación de las grietas en el edificio.

Como se ha visto es de gran utilidad disponer de una **escala de gravedad** de elementos constructivos, lo que ayuda a la toma de decisiones y priorizar las intervenciones. Es conveniente hacer ficha de cada edificio o construcción inspeccionado, en la que se deben de incluir los datos principales de la construcción y de las inspecciones e informes realizados. Es similar a la técnica que utiliza el médico con sus pacientes. Lógicamente, esta ficha se puede hacer en formato digital.

II.4.4.8. Herramientas básicas

Algunas de las herramientas básicas para el técnico que realiza la inspección de un edificio son las siguientes (Ruiz, 2002):

- medidor de grietas
- punzón
- picoleta de geólogo o similar (alcotana, etc.)

- linterna
- cinta métrica y medidor láser
- prismáticos
- cámara fotográfica
- lupa
- pulverizador con solución de fenoftaleína al 1%
- recipientes y etiquetas, para recogida de muestras
- lápiz de punta gruesa (por si se quiere marcar algo en la construcción)
- en caso de intervenir en casos de colapsos de edificios, incendios, explosiones o similar, es necesario utilizar adecuadas medidas de seguridad (casco, botas reglamentarias, gafas antipolvo, mascarilla, bata, etc.).

II.4.5. El lenguaje de las grietas

Como se desprende de lo que ya se ha explicado anteriormente, cualquier labor reparadora y restauradora de las grietas u otras disfunciones, sólo es posible acometerla con garantías de éxito si se ha comprendido perfectamente el mensaje que manifiesta su lenguaje, es decir, haber hecho un acertado diagnóstico. A veces esto no es así, y puede provocar que las medidas de reparación aplicadas tengan efectos opuestos a los deseados, y en consecuencia, no sólo sean caras e inútiles, sino que a veces no hacen más que aumentar el defecto, haciendo encarecer todavía más el trabajo de reparación.

El primer aspecto a tener en cuenta es que las grietas se producen a causa de un desequilibrio tensional, por tanto, se trata de saber cuál es la causa o causas de ese desequilibrio. Para ello, lógicamente, además de conocimientos sobre patología, se deben tener conocimientos sobre ciencias asociadas como son construcción, materiales, estructuras, geotecnia, etc. La observación detenida de la grieta puede aportar una gran cantidad de información sobre la causa o conjunto de causas que la ha producido, que en general no es suficiente para diagnosticar con certeza las causas de la grieta, pues suele ser necesario observar además otros aspectos del entorno (como si la grieta se repite o no en otros pisos, etc.). Algunas de las características básicas que se pueden conocer a partir de la observación detenida de la grieta son las siguientes:

1. **Si es antigua o reciente**, siendo este dato también importante, y se puede deducir observando con detenimiento el interior de la grieta, para lo cual resulta de ayuda el uso de lupa y linterna. Si el interior de la grieta está sucio, incluso con restos de tela de araña en su interior, con los bordes de la grieta erosionados, etc. es síntoma, en principio, de que la grieta es antigua. Si en cambio el interior de la grieta es limpio y los contornos son nítidos suele indicar que la grieta es reciente.
2. **Si es activa o no**, es decir si el desequilibrio que la ha ocasionado todavía persiste y la grieta va creciendo, o, por el contrario, la estructura ha llegado a un nuevo equilibrio y la grieta hace tiempo que no progresa. Este aspecto es notablemente importante, pues puede dar una idea inicial sobre la gravedad de la lesión, ya que una grieta activa puede que sea síntoma de lesión grave, debido a que el desequilibrio tensional que la produce todavía persiste, mientras que una grieta inactiva desde hace tiempo, en general, difícilmente será preocupante, pues el

desequilibrio que la produjo ha desaparecido y la estructura ha llegado a un nuevo equilibrio. Cabe resaltar que en esta premisa general hay excepciones.

Para conocer si es activa o no, se puede hacer observando con detenimiento los extremos de la grieta. Si los extremos tienen indicios de ser recientes, es síntoma que la grieta es activa y progresa. Si por el contrario los extremos tienen indicios de ser antiguos, es señal que la grieta es inactiva y hace tiempo que no progresa. Si se realizan inspecciones sucesivas se pueden utilizar otros sistemas como ir anotando el grosor de las grietas en diferentes momentos (para diferentes valores de t), o instrumental específico como galgas extensiométricos capaces de medir exactamente lo que aumenta de grosor la grieta. El de testigo de yeso se usa con gran frecuencia dado lo fácil que resulta aplicarlo, aunque debe tomarse sólo como orientación, ya que en algunas ocasiones los resultados que da, debido a razones diversas, son poco fiables.

También es de interés saber el grado de actividad de la grieta, ya que no es lo mismo una grieta activa con muy bajo grado de actividad, que una grieta activa con elevado grado de actividad, siendo, en general, más preocupante la segunda.

3. **Grosor.** Este dato no suele ser tan importante como los otros dos, ya que en el marco del trabajo de campo del doctorando se han observado grietas de apreciable grosor y longitud que sin embargo no son síntoma de lesión grave, entre otras razones porque muestran claros síntomas de que son inactivas desde hace tiempo. Y al contrario, se han detectado grietas de poco grosor que eran síntoma de grave lesión. En grietas de grosor inferior a 2mm se puede medir con facilidad el grosor con un medidor de grietas, y para fracturas de gran grosor se puede medir con cinta métrica. El grosor de las grietas es un dato que conviene ponerlo en el informe, y es un dato que es sumamente fácil de obtener.
4. **Traza,** es decir, observar si la grieta es vertical u oblicua o escalonada, o si tiene traza continua o discontinua, etc. Este dato que también es muy fácil de obtener suele ayudar para establecer la causa de la lesión, y también conviene ponerlo en el informe.

Hay otros muchos datos que se pueden obtener de la observación detenida de la grieta, como saber si los bordes están desplazados uno del otro respecto al plano vertical, o la profundidad de la grieta, etc. Pero con frecuencia, como ya se ha señalado, incluso el técnico experto no podrá estar seguro sobre la causa o causas de la lesión mediante la mera observación detenida de la grieta, y deberá observar otros aspectos del entorno. Aparte de todo lo dicho hasta aquí, hay algunas publicaciones que sirven de cierta ayuda a la hora de clasificar y comprender los tipos de grietas (Calavera, 1996).

ANEXO III

VALIDACIÓN DE LA ESCALA DE GRAVEDAD

III.1. INTRODUCCIÓN

En el Capítulo 5 se ha realizado el proceso de validación de la escala de gravedad de daños en edificios propuesta en el Capítulo 4 y se ha analizado su aplicabilidad. Para ello se han realizado una serie de “ensayos” en los que se muestran 33 imágenes de elementos constructivos a una población de 374 técnicos, para que les asignen un grado de gravedad G a cada imagen según las definiciones genéricas de la escala, con objeto de analizar, entre otros muchos aspectos, si entre los técnicos hay alta o baja variabilidad al asignar valores de G .

De los datos recogidos (12.342 valores de G asignados) se realiza un análisis estadístico, donde se analizan y relacionan diversos aspectos y se utilizan variadas técnicas matemáticas, tales como estadística descriptiva (medias aritméticas, desviaciones tipo, densidades, frecuencias, histogramas, etc.), regresión logística binaria y clustering, utilizándose el programa Minitab. Con objeto de reducir el cuerpo principal de la tesis, buena parte de los cálculos realizados, gráficas y tablas obtenidas no se han incluido en el Capítulo 5, por no ser necesarios para comprender las metodologías propuestas.

El objeto del presente anexo es presentar la mayor parte de cálculos realizados y gráficas y tablas obtenidas, para dar consistencia a los resultados y conclusiones que se presentan en el Capítulo 5.

III.2. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES POR GRUPOS CON EL MISMO VALOR GR

Una de las diversas partes de la metodología empleada ha sido realizar un análisis de los resultados obtenidos para cada valor de G de referencia o patrón (GR). Para ello se ha realizado una tabla para cada valor de GR , donde se aprecia qué valores de G han asignado los técnicos participantes (GA) a cada una de las 3 imágenes que hay para cada valor de GR . Igualmente cada tabla tiene tres gráficos relacionados, un gráfico para cada una de las tres fotografías pertenecientes al mismo valor de GR y un gráfico boxplot (también denominado *box-and-whisker diagram* o *plot*, y en castellano también gráfico de caja) para el conjunto de las tres fotografías.

Análogamente se ha realizado el análisis de las desviaciones de los valores de G asignados por los técnicos (GA) respecto de los valores de G de referencia o patrón (GR) y con qué desviación (de +10 a -10), utilizando el mismo criterio de agrupamiento de imágenes antes referido. Una vez calculadas las desviaciones, se ha contabilizado a todos los participantes del cuestionario desde la desviación -10 a la desviación +10, sabiendo que en la desviación 0 se tienen todos los participantes de la muestra que han valorado la imagen con el valor GR . También se ha contabilizado para cada fotografía a los participantes que han tenido dudas entre dos valores de la escala (en el gráfico: “dudas”) y a aquellos que no han puesto ningún valor (en el gráfico: “sv”).

Con objeto de tener una clara visualización de los resultados obtenidos, para cada valor de GR quedan recogidos los resultados correspondientes en una tabla y en una gráfica que muestra las desviaciones, correspondiendo a cada imagen una curva de color diferente. Se puede apreciar que las curvas tienden a tener forma de Campana de Gauss.

Por todo lo referido existen 11 grupos de tablas y gráficas, uno para cada valor de GR , desde $GR = 0$ hasta $GR = 10$, que es lo que se presenta en esta sección del anexo. Con objeto de reducir el cuerpo principal de la tesis, en la memoria sólo se han incluido 3 de estos grupos de tablas y gráficas ($GR = 0$, $GR = 3$ y $GR = 7$) para que el lector pueda entender el método empleado y la tipología de resultados obtenidos. El primero se ha seleccionado por ser uno de los extremos, el segundo por estar en el tramo leve y el segundo por estar en el tramo grave.

Grado G de referencia o patrón cero ($GR = 0$)

En la *Tabla III.1* y *Figuras III.1, III.2* y *III.3* se presentan los datos correspondientes al grado 0 ($GR = 0$). En estos datos están la distribución de frecuencias de las respuestas GA, la distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$), el histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 3, 17 y 25, y el Boxplot de respuestas para las mismas fotografías.

GR=0	FOT.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DUDAS	SV
	Nº 3	325	36	4	4	0	2	0	0	1	0	0	0	1
Nº 17	255	45	25	25	8	10	1	2	0	0	0	0	2	1
Nº 25	104	170	52	30	10	4	2	1	0	0	0	0	1	0

Tabla III.1. Distribución de frecuencias de las respuestas GA para $GR=0$

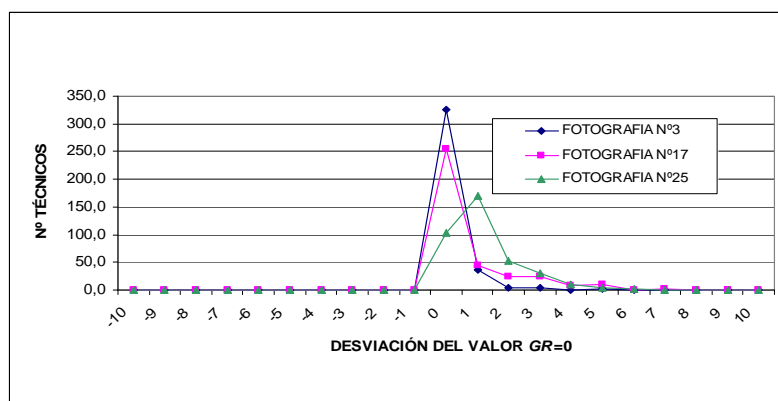


Figura III.1. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=0$

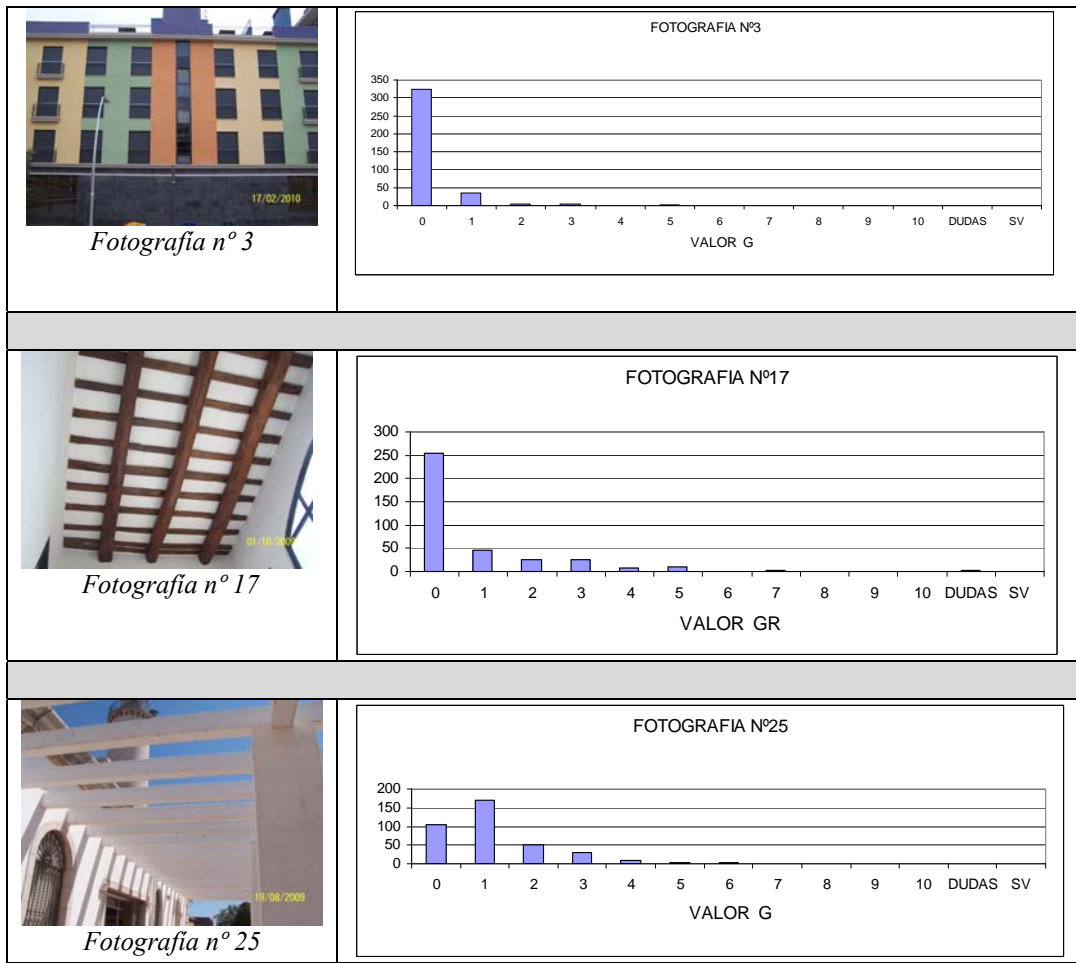


Figura III.2. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 3, 17 y 25 (GR=0)

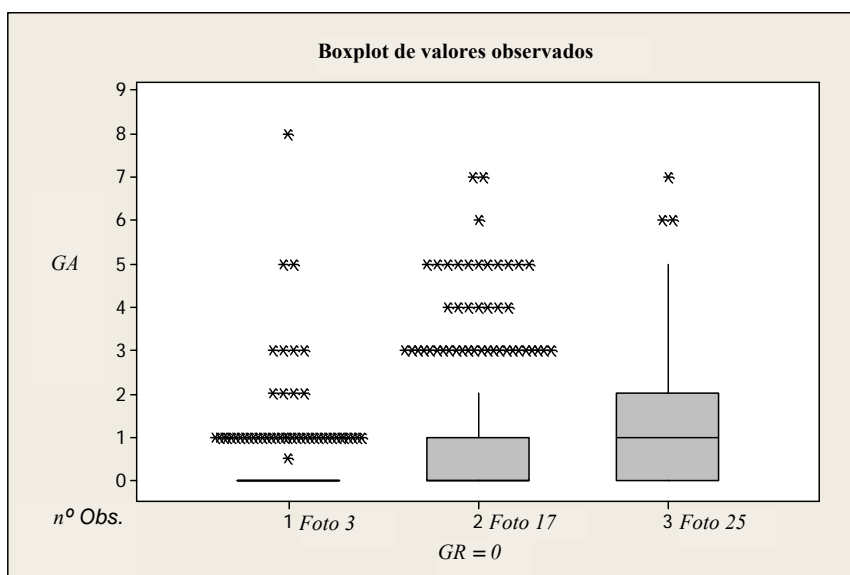


Figura III.3. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 3, 17 y 25 (GR=0)

Grado G de referencia o patrón uno ($GR = 1$)

En la *Tabla III.2* y *Figuras III.4, III.5* y *III.6* se presentan los datos correspondientes al grado 1 ($GR = 1$). En estos datos están la distribución de frecuencias de las respuestas GA, la distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$), el histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 6, 21 y 28, y el Boxplot de respuestas para las mismas fotografías.

GR=1	FOT.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DUDAS	SV
	Nº 6	46	144	80	44	32	14	11	0	2	0	0	0	1
Nº 21	261	72	15	14	3	1	2	0	1	0	0	0	1	4
Nº 28	33	167	78	68	21	3	2	0	0	0	0	0	2	0

Tabla III.2. Distribución de frecuencias de las respuestas GA para $GR=1$

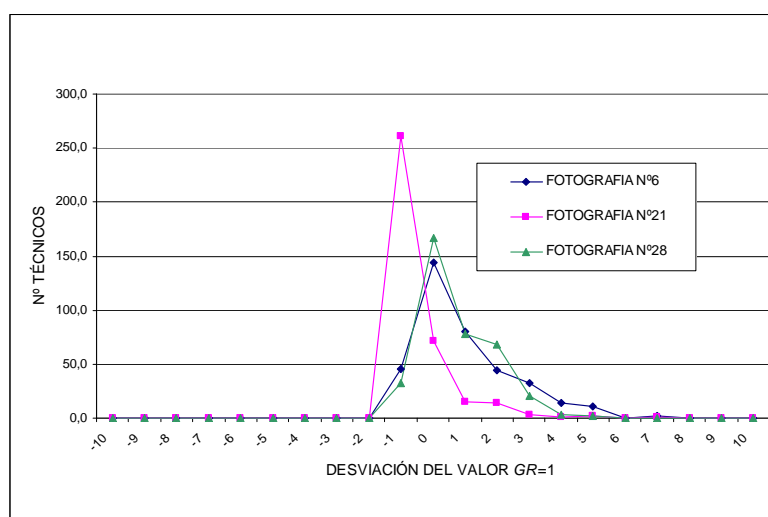


Figura III.4. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=1$

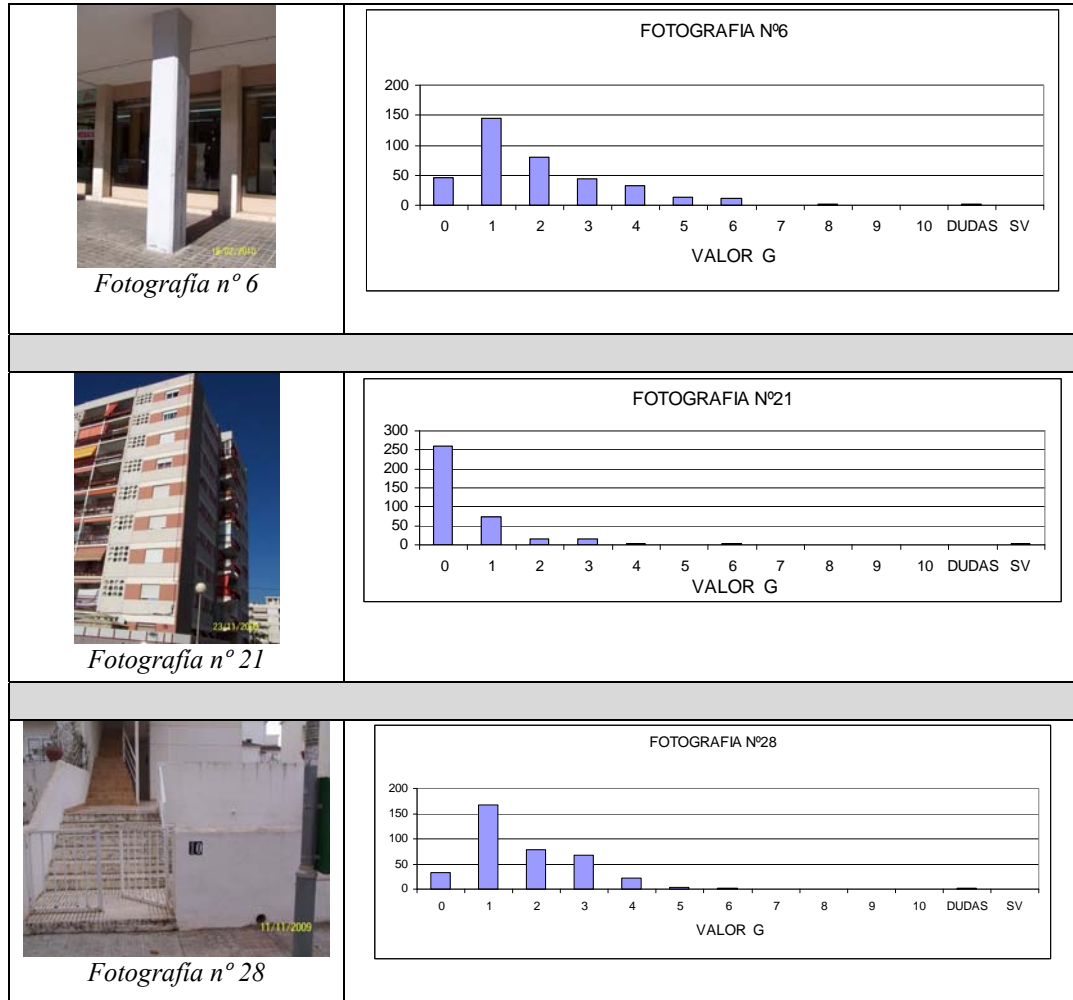


Figura III.5. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 6, 21 y 28 (GR=1)

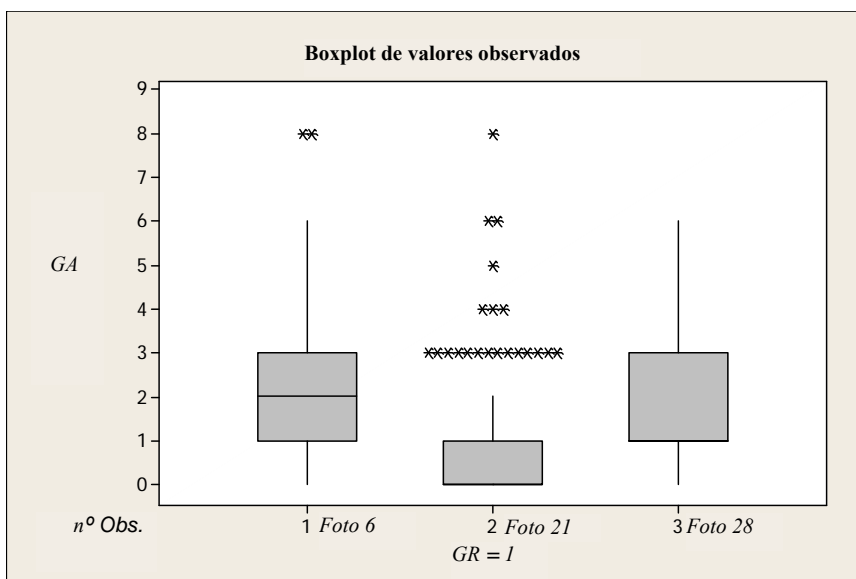


Figura III.6. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 6, 21 y 28 (GR=1)

Grado G de referencia o patrón dos (GR = 2)

En la *Tabla III.3* y *Figuras III.7, III.8* y *III.9* se presentan los datos correspondientes al grado 2 ($GR = 2$). En estos datos están la distribución de frecuencias de las respuestas GA, la distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$), el histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 8, 18 y 31, y el Boxplot de respuestas para las mismas fotografías.

GR=2	FOT.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DUDAS	SV
	Nº 8	106	55	41	51	32	32	36	10	0	2	0	7	2
	Nº 18	0	43	70	106	90	41	18	3	1	0	0	2	0
	Nº 31	14	87	94	95	49	19	8	5	0	1	0	2	0

Tabla III.3. Distribución de respuestas GA para GR=2

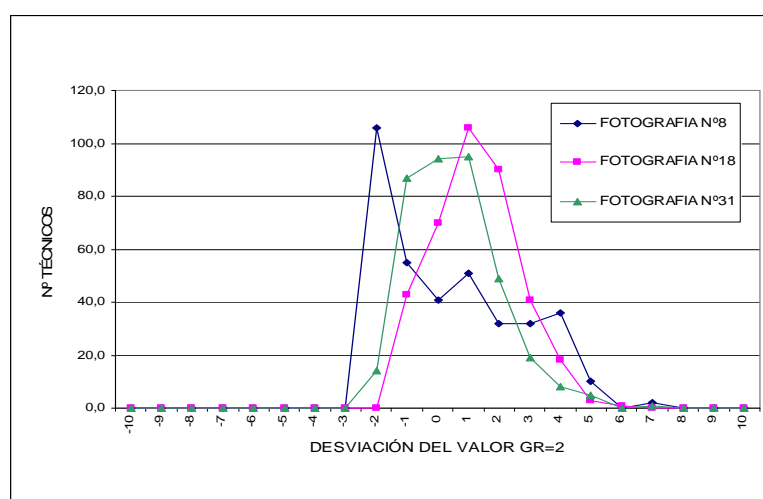


Figura III.7. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para GR=2

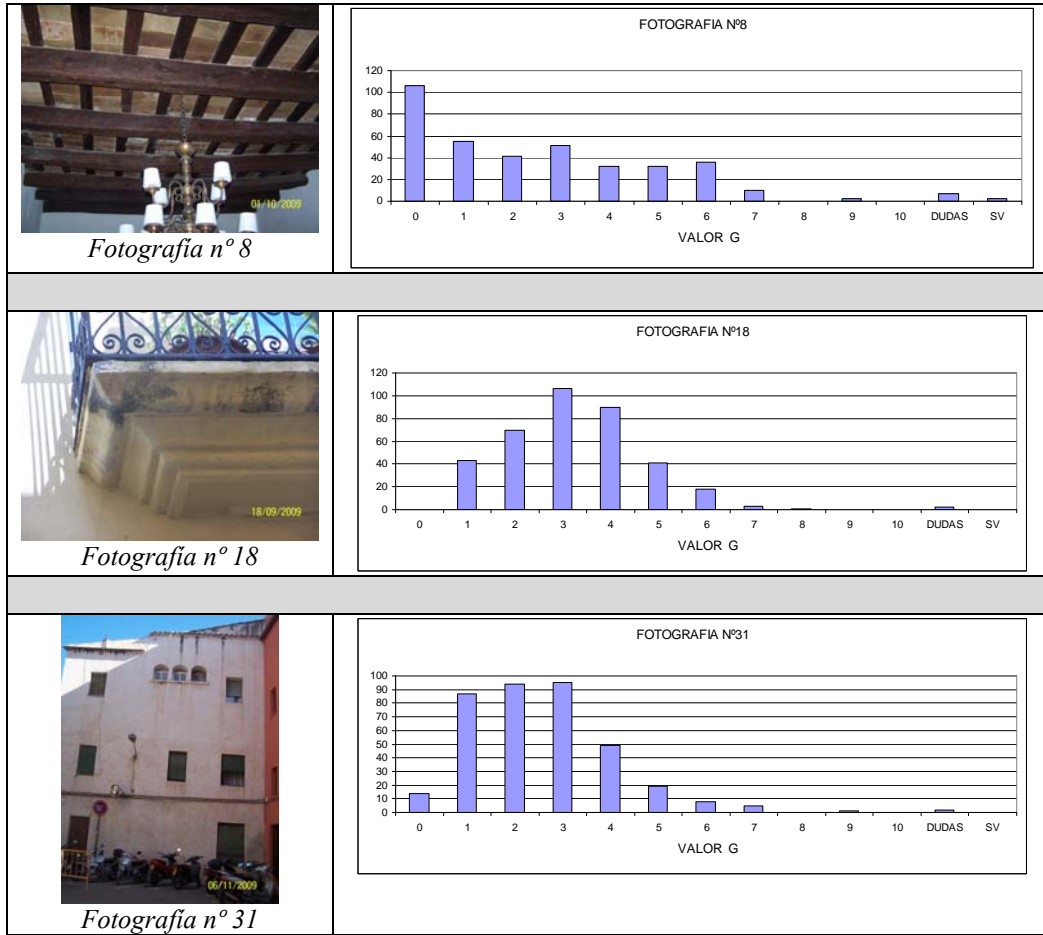


Figura III.8. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 8, 18 y 31 (GR=2)

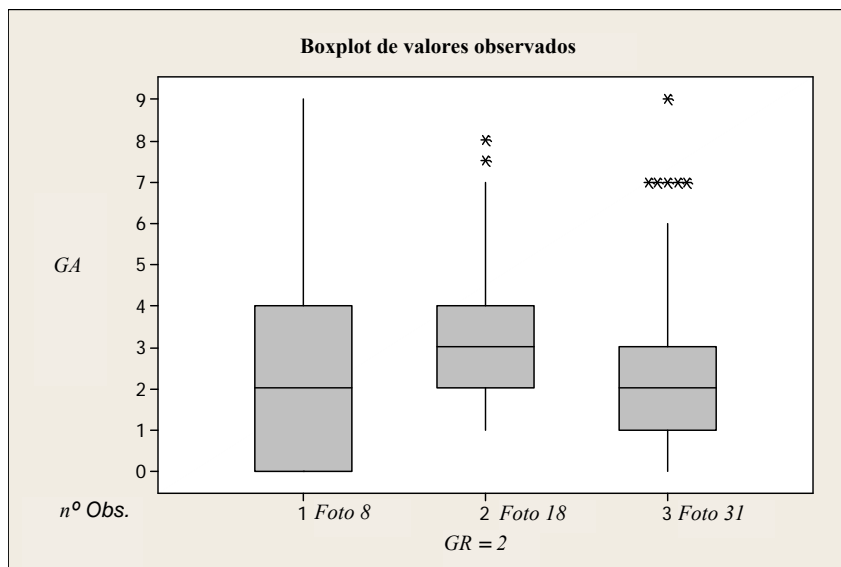


Figura III.9. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 8, 18 y 31 (GR=2)

Grado G de referencia o patrón tres ($GR = 3$)

En la *Tabla III.4* y *Figuras III.10, III.11* y *III.12* se presentan los datos correspondientes al grado 3 ($GR = 3$). En estos datos están la distribución de frecuencias de las respuestas GA, la distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$), el histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 1, 7 y 14, y el Boxplot de respuestas para las mismas fotografías.

GR=3	FOT.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DUDAS	SV
	N° 1	1	81	99	96	80	12	1	1	0	0	0	3	0
N° 7	1	4	21	56	133	86	8	9	3	0	0	3	0	
N° 14	3	18	55	85	95	48	43	15	5	2	2	3	0	

Tabla III.4. Distribución de respuestas GA para $GR=3$

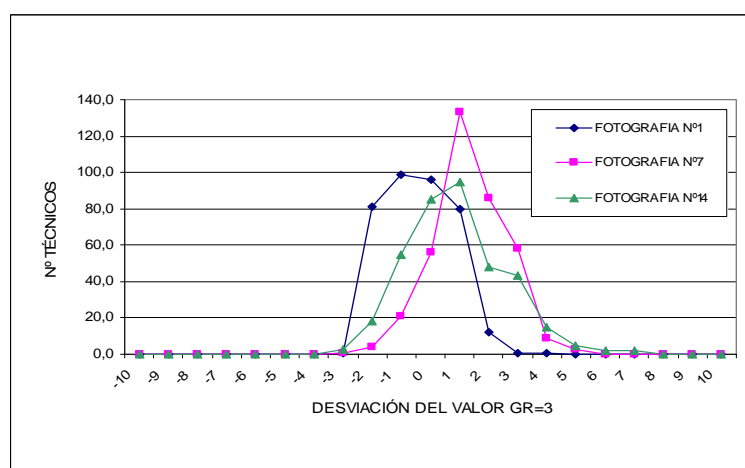


Figura III.10. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=3$

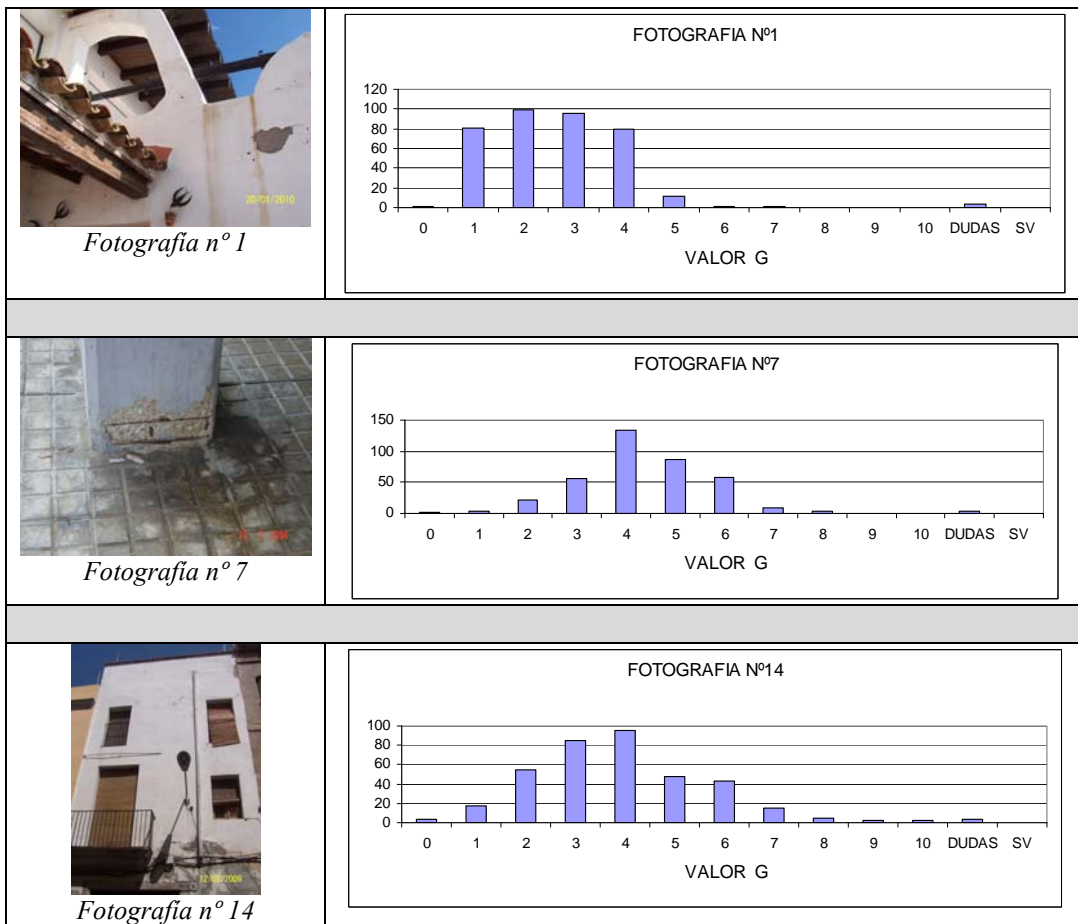


Figura III.11. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 1, 7 y 14 (GR=3)

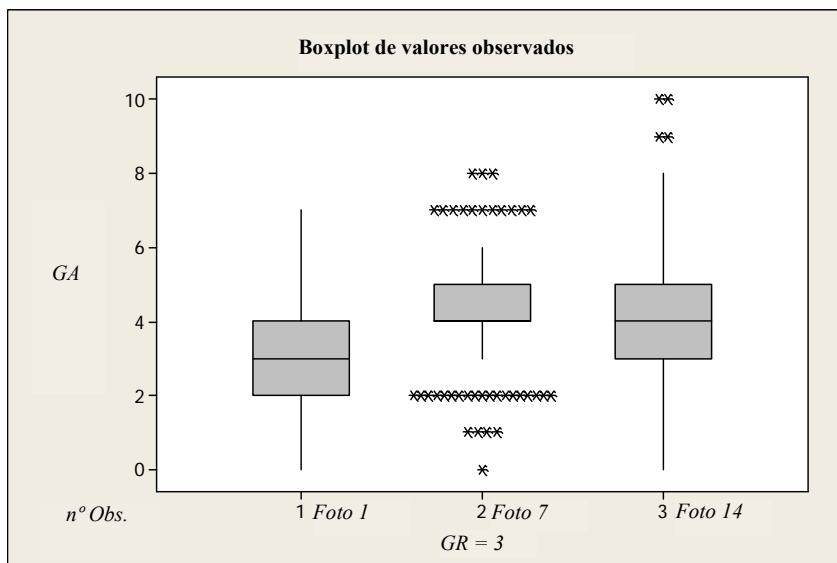


Figura III.12. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 1, 7 y 14 (GR=3)

Grado G de referencia o patrón cuatro ($GR = 4$)

En la *Tabla III.5* y *Figuras III.13, III.14* y *III.15* se presentan los datos correspondientes al grado 4 ($GR = 4$). En estos datos están la distribución de frecuencias de las respuestas GA, la distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$), el histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 13, 22 y 32, y el Boxplot de respuestas para las mismas fotografías.

GR=4	FOT.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DUDAS	SV
	Nº 13	1	3	17	41	117	87	75	21	5	1	0	5	1
Nº 22	0	3	7	21	37	80	110	73	28	9	1	5	0	
Nº 32	0	3	21	47	115	91	68	24	2	0	0	3	0	

Tabla III.5. Distribución de respuestas GA para GR=4

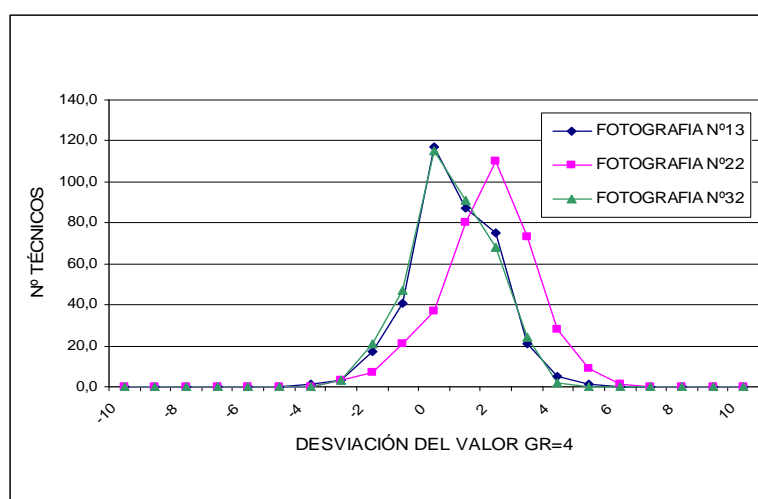


Figura III.13. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=4$

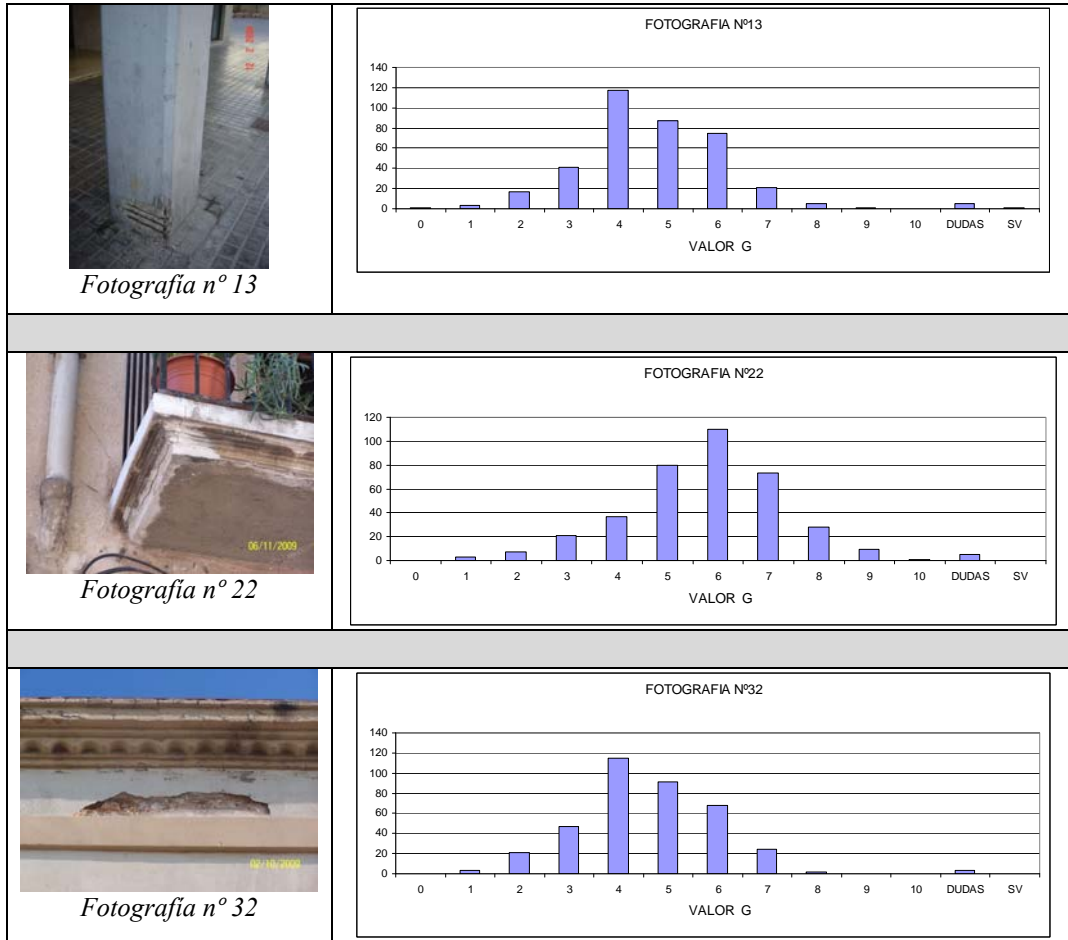


Figura III.14.–Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 13, 22 y 32 (GR=4)

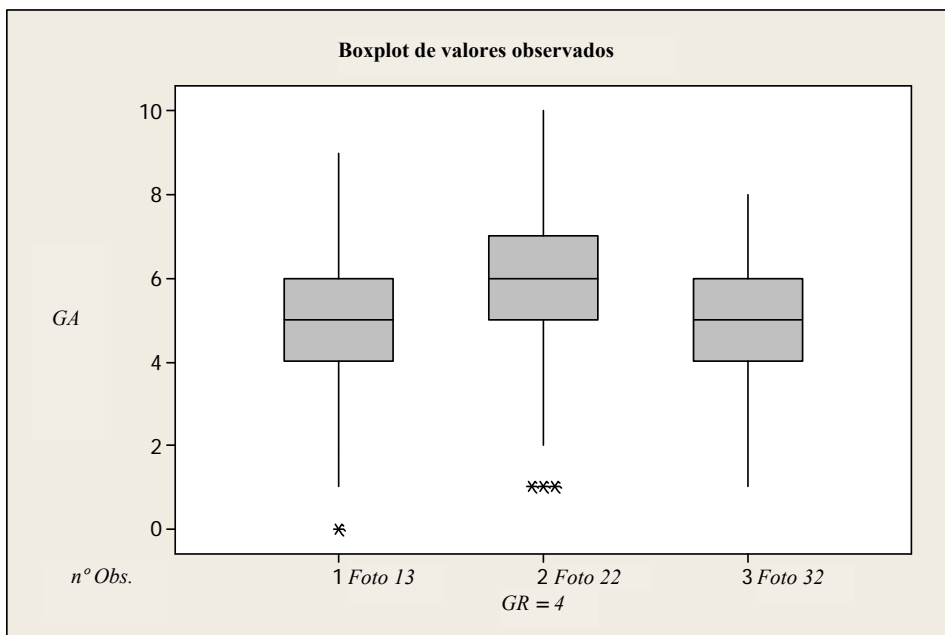


Figura III.15. Boxplot de respuestas para las fotografías nos 13, 22 y 32 (GR=4)

Grado G de referencia o patrón cinco ($GR = 5$)

En la *Tabla III.6* y *Figuras III.16, III.17* y *III.18* se presentan los datos correspondientes al grado 5 ($GR = 5$). En estos datos están la distribución de frecuencias de las respuestas GA, la distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$), el histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 2, 20 y 26, y el Boxplot de respuestas para las mismas fotografías.

GR=5	FOT.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DUDAS	SV
	Nº 2	0	0	0	2	11	50	135	124	39	7	0	6	0
Nº 20	0	1	3	21	9	80	89	71	34	10	1	5	0	
Nº 26	0	2	11	33	91	99	84	37	8	2	0	6	1	

Tabla III.6.- Distribución de respuestas GA para GR=5

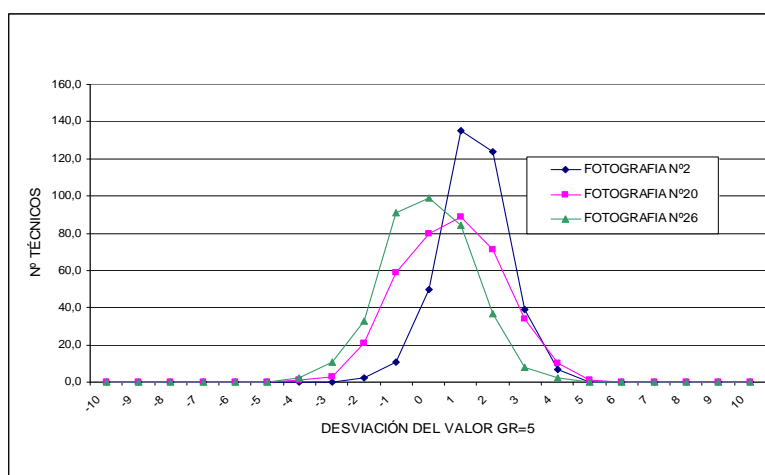


Figura III.16. -Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=5$

Grado G de referencia o patrón seis ($GR = 6$)

En la *Tabla III.7* y *Figuras III.19, III.20 y III.21* se presentan los datos correspondientes al grado 6 ($GR = 6$). En estos datos están la distribución de frecuencias de las respuestas GA, la distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$), el histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 12, 15 y 33, y el Boxplot de respuestas para las mismas fotografías.

GR=6	FOT.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DUDAS	SV
	Nº 12	0	0	0	0	6	30	75	114	81	52	9	7	0
Nº 15	0	0	1	1	7	32	80	116	89	31	6	10	1	
Nº 33	0	1	0	10	16	75	122	90	47	6	0	7	0	

Tabla III.7. Distribución de respuestas GA para GR=6

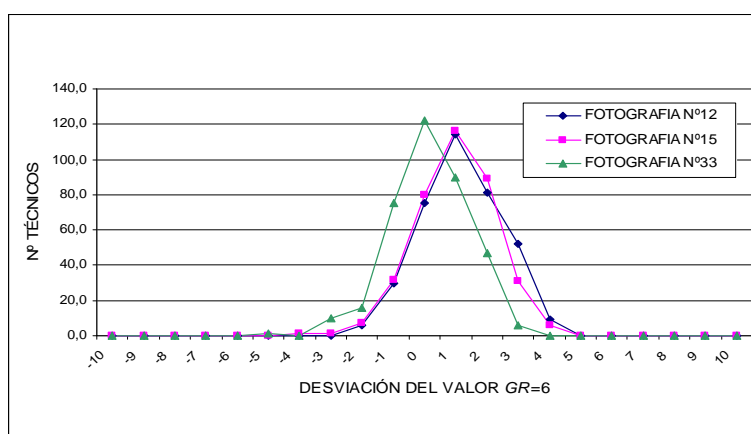


Figura III.19. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=6$

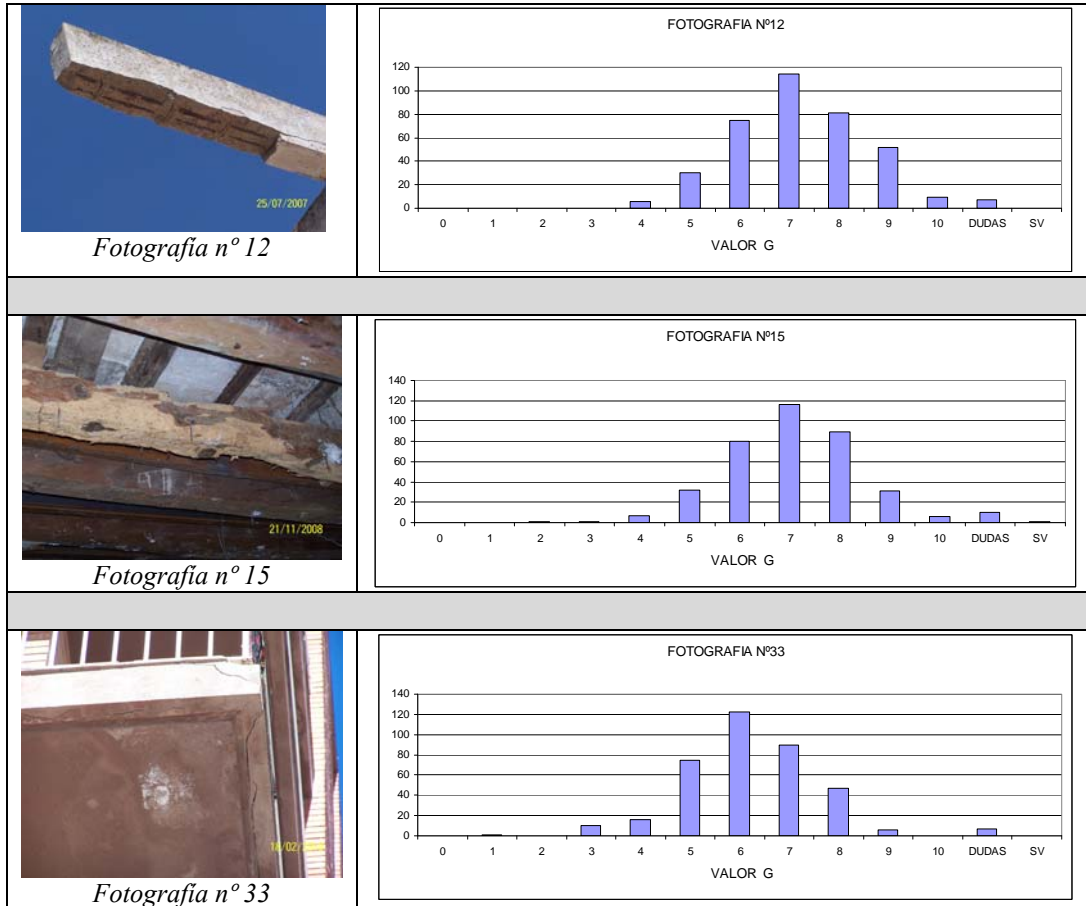


Figura III.20. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 12, 15 y 33 (GR=6)

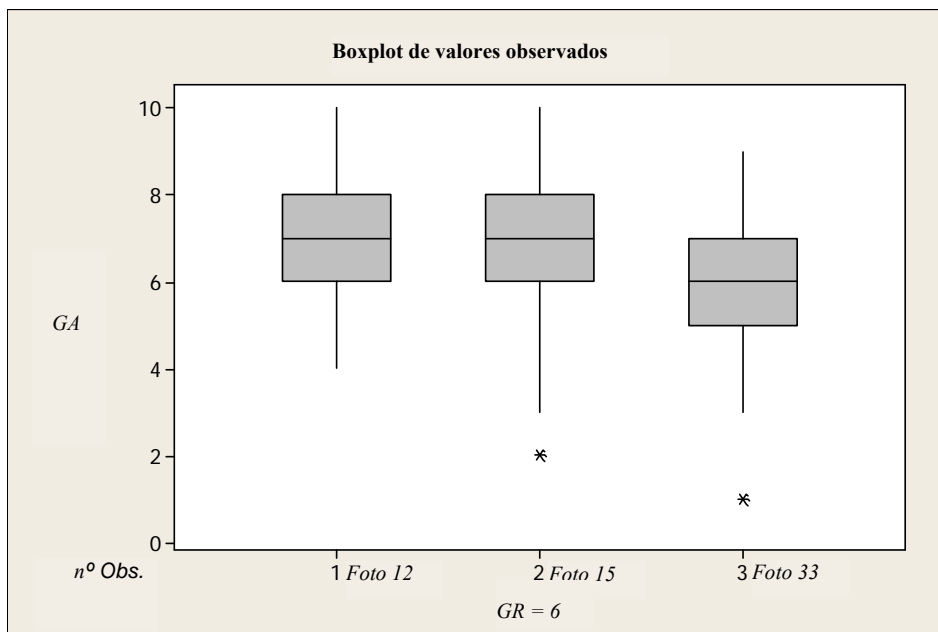


Figura III.21. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 12, 15 y 33 (GR=6)

Grado G de referencia o patrón siete ($GR = 7$)

En la *Tabla III.8* y *Figuras III.22, III.23 y III.24* se presentan los datos correspondientes al grado 7 ($GR = 7$). En estos datos están la distribución de frecuencias de las respuestas GA, la distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$), el histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 4, 10 y 24, y el Boxplot de respuestas para las mismas fotografías.

GR=7	FOT.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DUDAS	SV
	Nº 4	1	0	0	0	3	9	61	127	111	50	8	4	0
	Nº 10	0	0	0	0	6	35	96	141	71	17	0	8	0
	Nº 24	0	0	0	0	2	7	36	99	146	68	8	8	0

Tabla III.8. Distribución de respuestas GA para $GR=7$

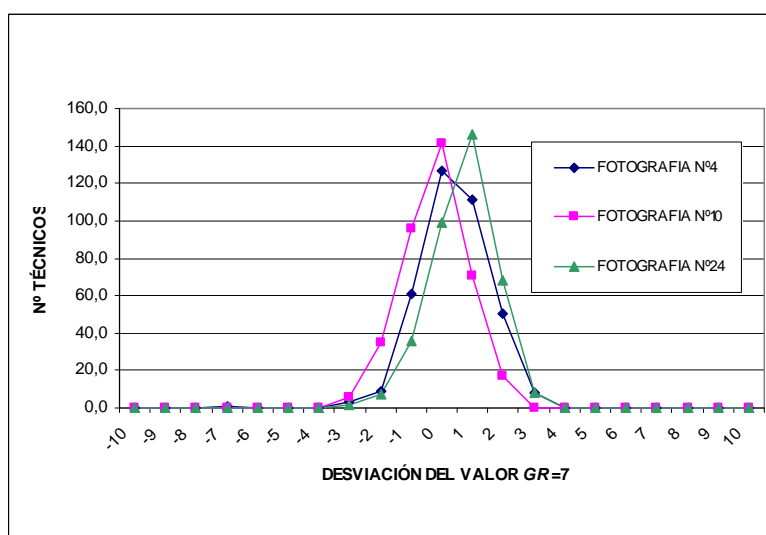


Figura III.22. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=7$

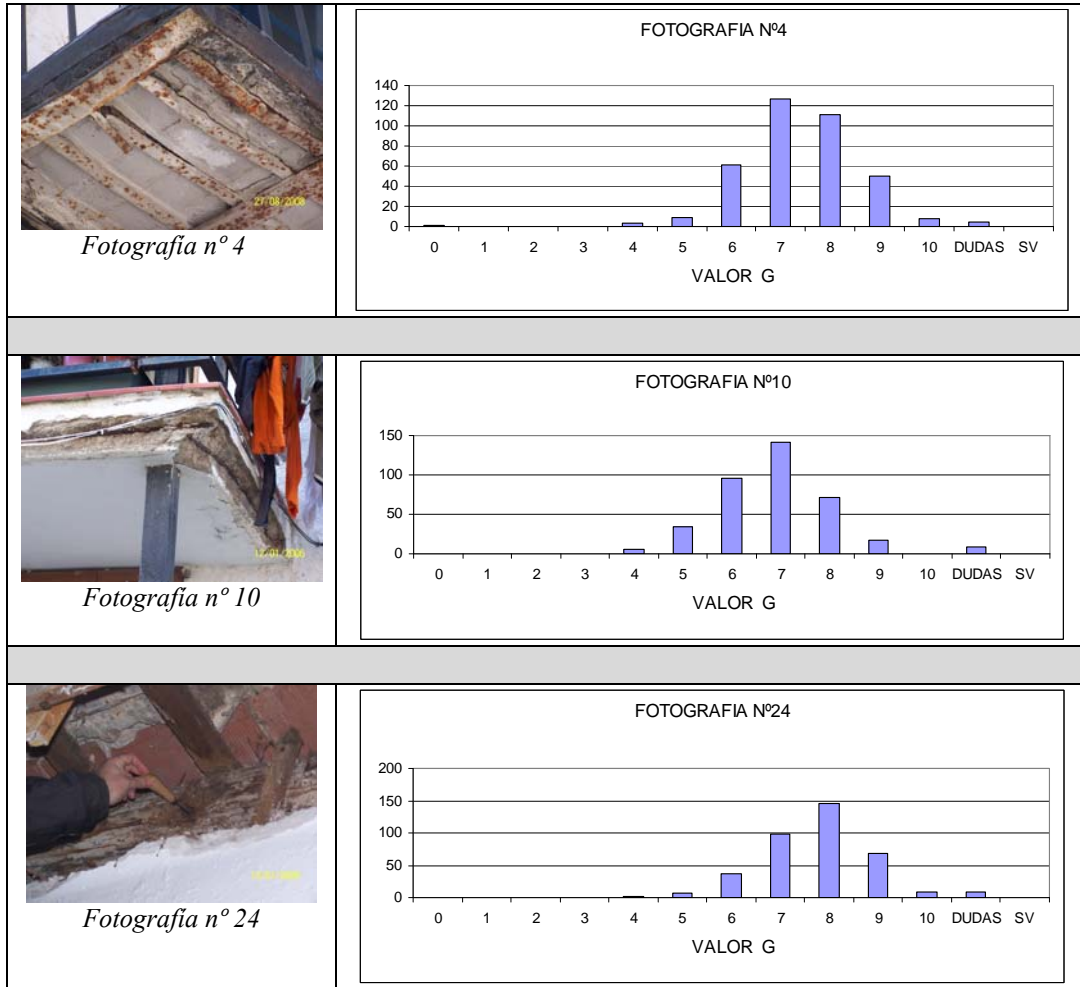


Figura III.23. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 4, 10 y 24 (GR=7)

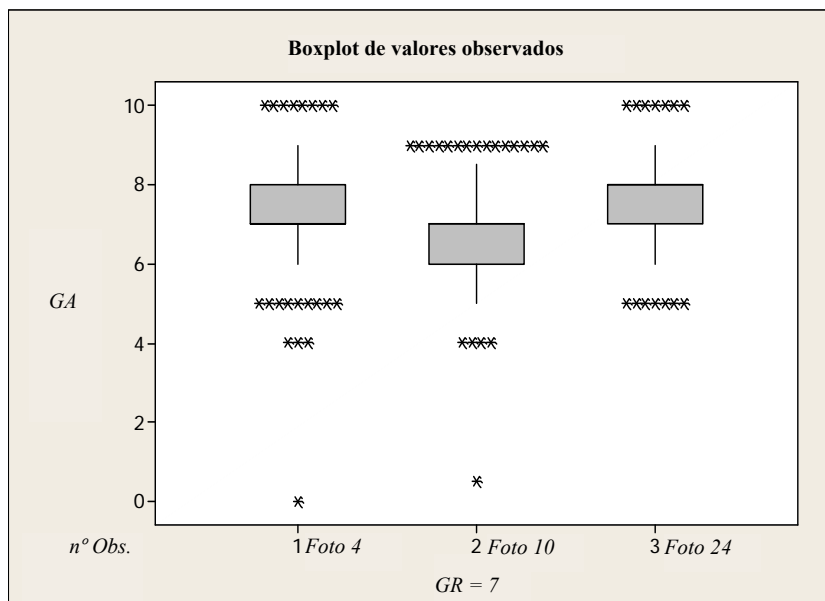


Figura III.24.- Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 4, 10 y 24 (GR=7)

Grado G de referencia o patrón ocho ($GR = 8$)

En las *Tabla III.9* y *Figuras III.25, III.26* y *III.27* se presentan los datos correspondientes al grado 8 ($GR = 8$). En estos datos están la distribución de frecuencias de las respuestas GA, la distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$), el histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 9, 16 y 30, y el Boxplot de respuestas para las mismas fotografías.

GR=8	FOT.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DUDAS	SV
	Nº 9	1	0	0	1	7	9	37	87	111	95	20	6	0
Nº 16	0	0	0	5	25	45	106	95	61	28	3	6	0	
Nº 30	0	0	1	0	0	1	20	47	102	146	54	3	0	

Tabla III.9. Distribución de respuestas GA para GR=8

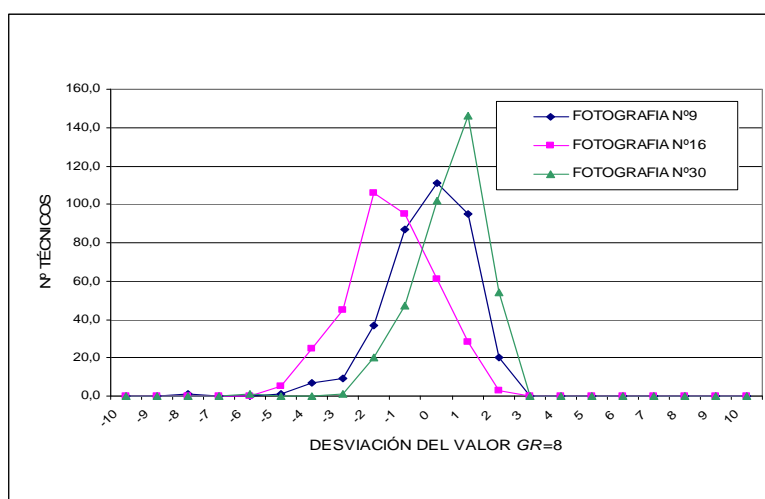


Figura III.25. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=8$

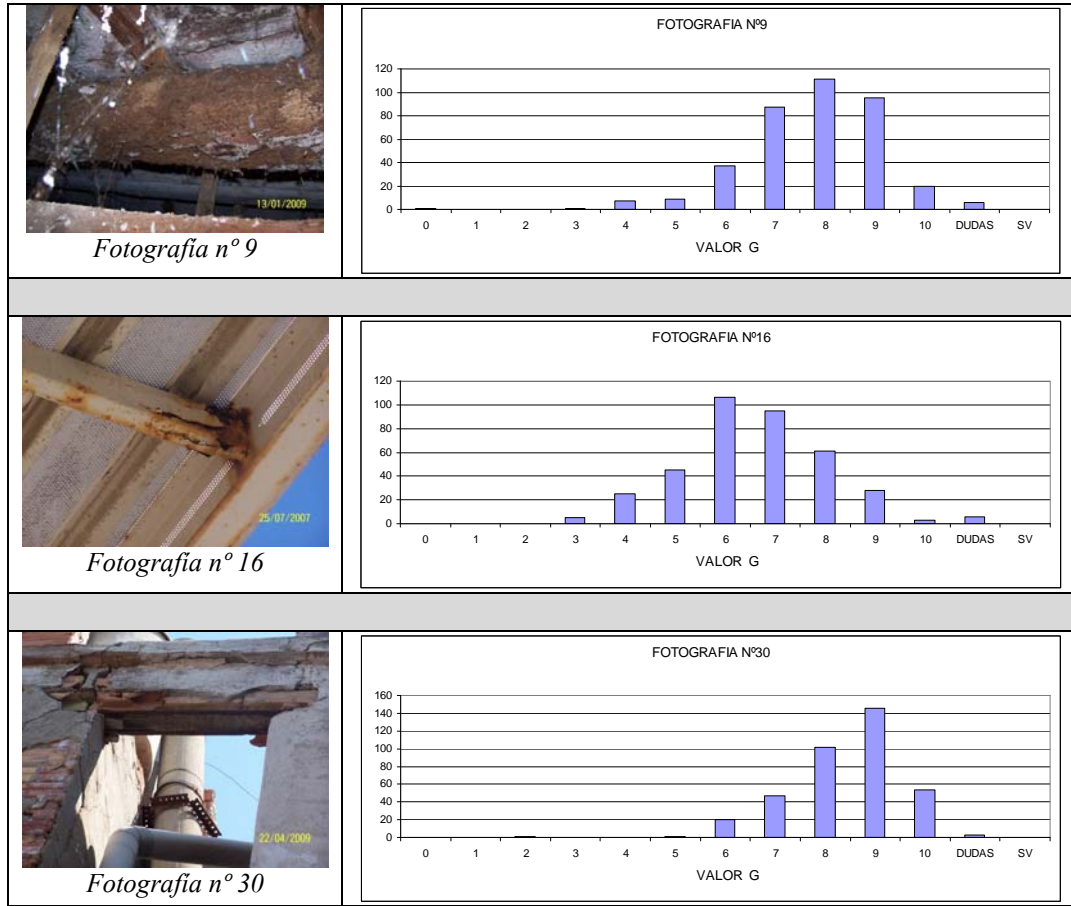


Figura III.26. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 9, 16 y 30 (GR=8)

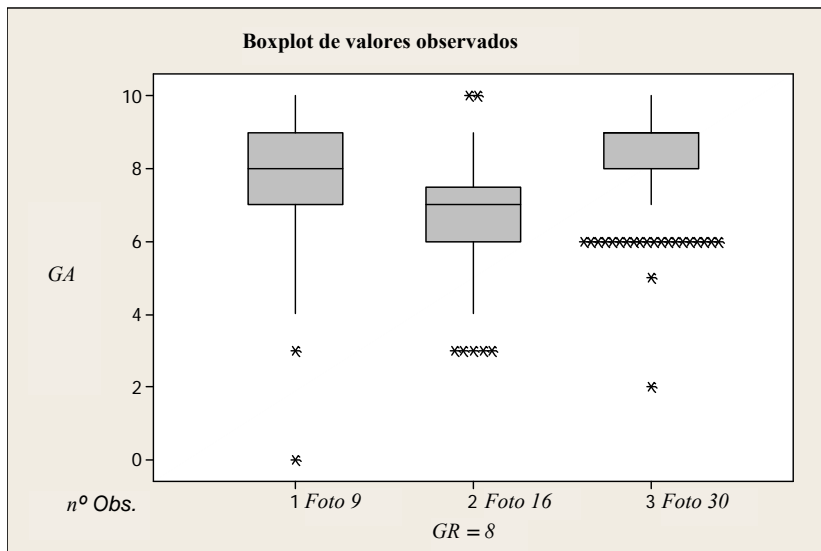


Figura III.27. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 9, 16 y 30 (GR=8)

Grado G de referencia o patrón nueve ($GR = 9$)

En la *Tabla III.10* y *Figuras III.28, III.29* y *III.30* se presentan los datos correspondientes al grado 9 ($GR = 9$). En estos datos están la distribución de frecuencias de las respuestas GA, la distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$), el histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 5, 19 y 27, y el Boxplot de respuestas para las mismas fotografías.

GR=9	FOT.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DUDAS	SV
	Nº 5	0	0	0	0	2	1	25	102	133	88	17	6	0
Nº 19	0	0	0	0	1	8	33	104	113	86	22	7	0	
Nº 27	2	0	0	0	1	1	10	40	97	161	53	9	0	

Tabla III.10. Distribución de respuestas GA para $GR=9$

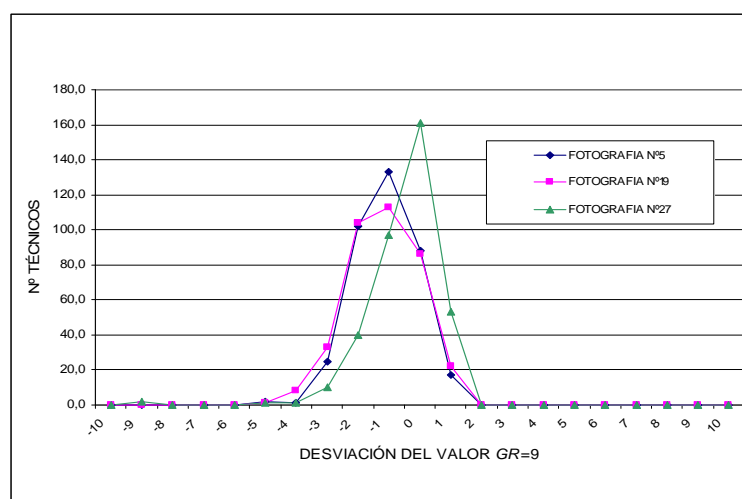


Figura III.28. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=9$

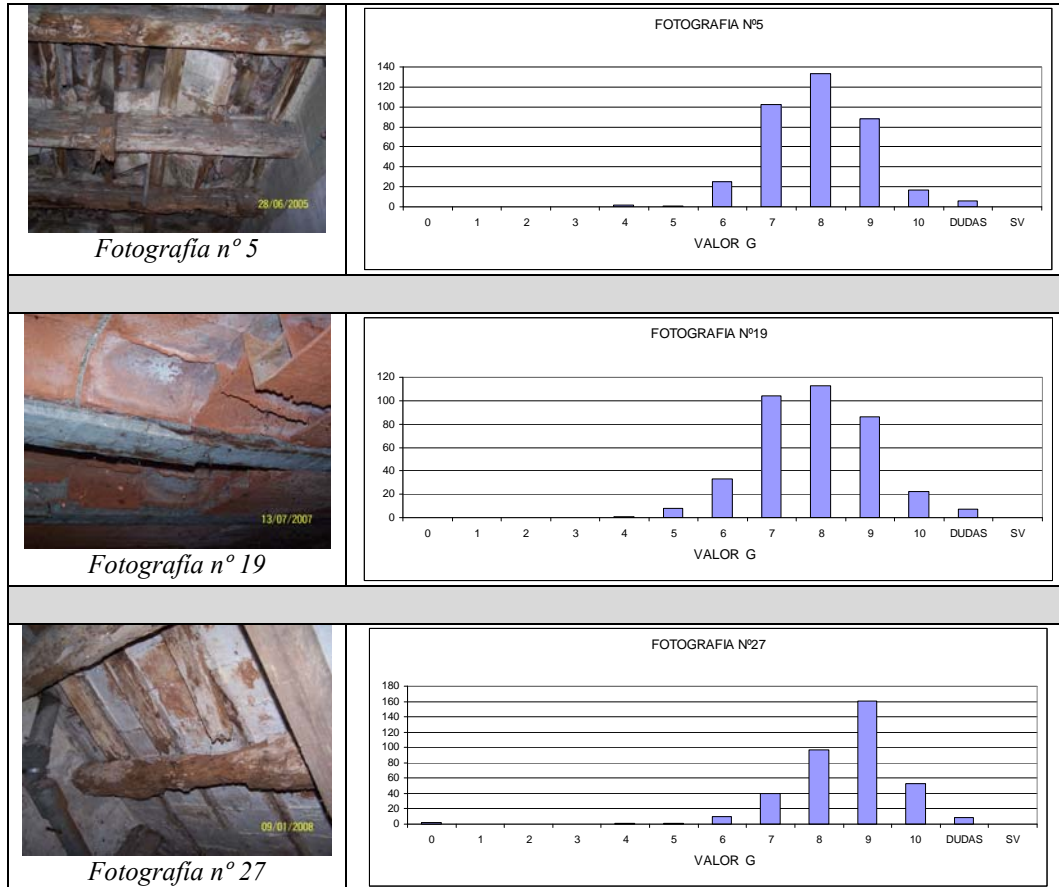


Figura III.29. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 5, 19 y 27 (GR=9)

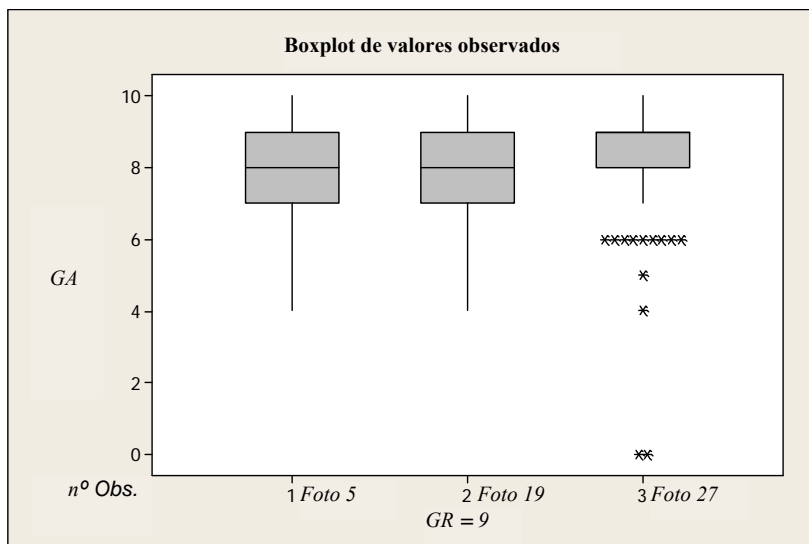


Figura III.30. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 5, 19 y 27 (GR=9)

Grado G de referencia o patrón diez ($GR = 10$)

En las *Tabla III.11* y *Figuras III.31, III.32* y *III.33* se presentan los datos correspondientes al grado 10 ($GR = 10$). En estos datos están la distribución de frecuencias de las respuestas GA, la distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$), el histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 11, 23 y 29, y el Boxplot de respuestas para las mismas fotografías.

GR=10	FOT.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	DUDAS	SV
	Nº 11	1	0	0	0	0	1	3	15	74	119	154	5	2
Nº 23	0	0	0	0	1	1	1	2	4	41	323	1	0	
Nº 29	1	0	0	1	0	1	18	50	109	128	57	9	0	

Tabla III.11. Distribución de respuestas GA para $GR=10$

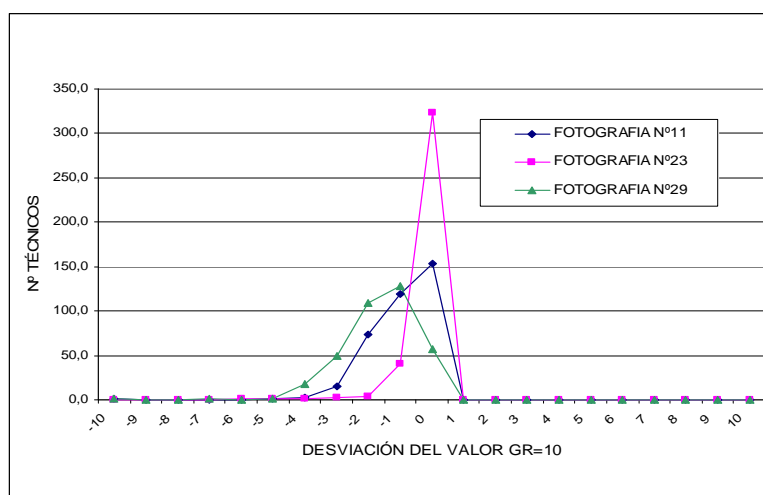


Figura III.31. Distribución de la desviación ($Dev = GA - GR$) para $GR=10$

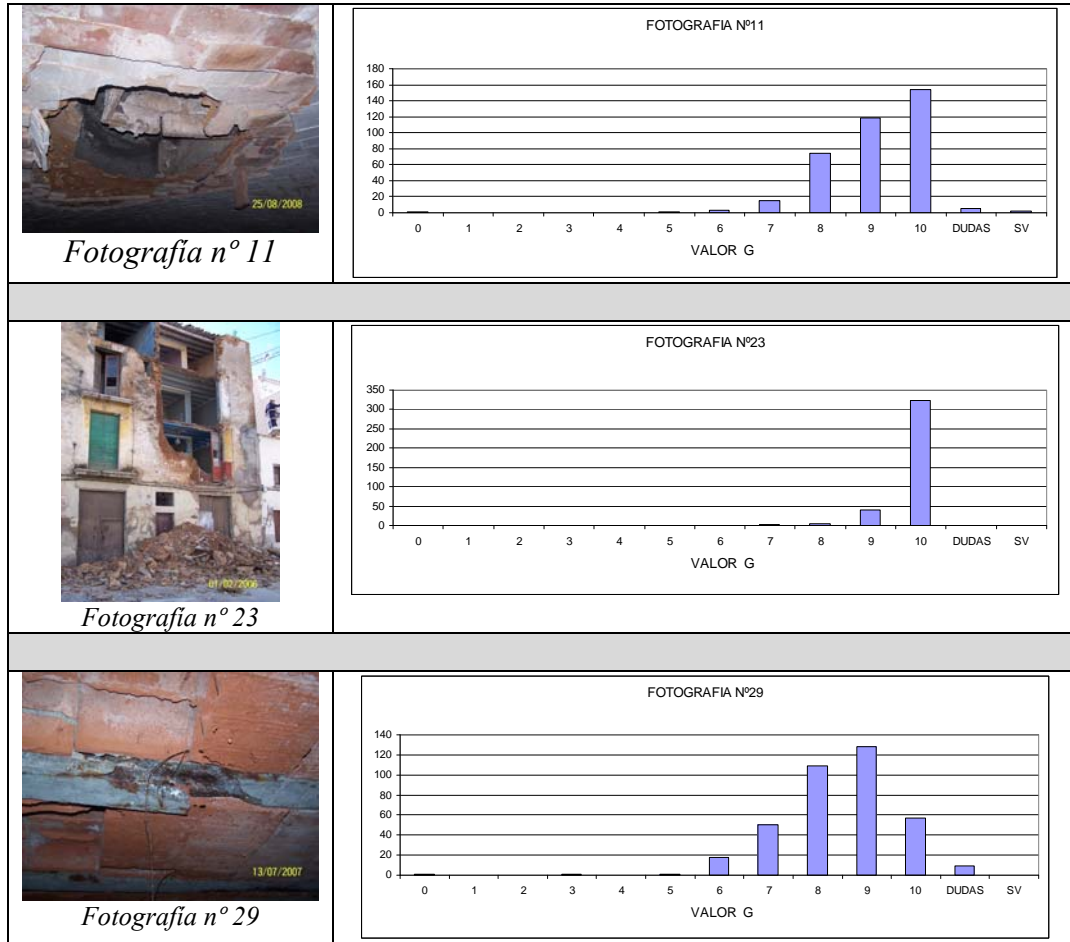


Figura III.32. Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías n^{os} 11, 23 y 29 (GR=10)

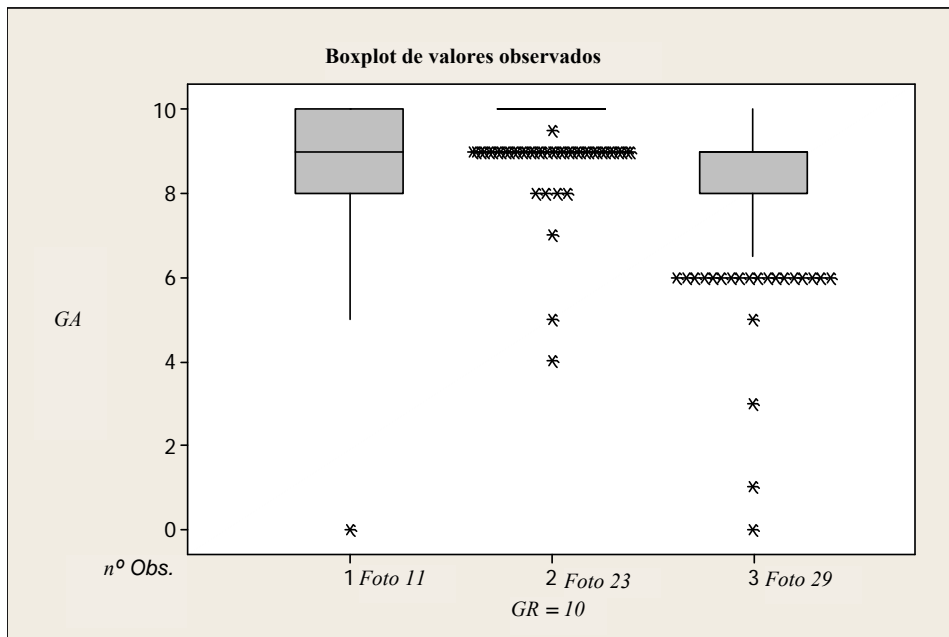


Figura III.33. Boxplot de respuestas para las fotografías n^{os} 11, 23 y 29 (GR=10)

III.3. REGRESIÓN LOGÍSTICA BINARIA PARA CADA GRADO (VALOR GR) PARA TODAS LAS VARIABLES CONSIDERADAS

En el Capítulo 5 sólo se han incluido, a modo de ejemplo, los cálculos y resultados de la regresión logística aplicada a la variable *ok* para $GR = 0$. De manera análoga, y sólo considerando la variable Titulación como predictora, se ha reproducido la metodología de cálculo para los valores de GR de 1 a 10. Esto, junto con la presentación de los resultados en tablas y las explicaciones que se dan es suficiente para comprender la metodología propuesta. En la presente sección se adjuntan los cálculos obtenidos de aplicar el modelo de regresión logística binaria para cada valor GR , para todas las variables consideradas, con objeto de dar consistencia a los resultados y conclusiones presentadas en el Capítulo 5.

GR	Titulación	Formación patología	Experiencia construcción	Experiencia patología	Tiempo test
0	at/ie 0,000 (2,76)	-	-	-	0,006 (0,99)
1	at/ie 0,008 (1,79)	-	-	0,015 (1,07)	-
2	at/ie 0,034 (1,67)	-	-	-	-
3	-	-	-	-	0,018 (0,99)
4	at/ie 0,004 (2,50)	-	-	-	-
5 a 10	-	-	-	-	-

Tabla III. 12. *p*-valores (odds-ratio) de Regresión Logística Binaria para cada valor de GR para cada uno de los predictores (el guión indica un *p*-valor $\geq 0,05$)

Para el Grado 0:

ok	1	217 (Event)
	0	139
Total		356

Binary Logistic Regression: ok versus titulación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.149532	0.173257	-0.86	0.388			
titulació							
at-a	0.372675	0.692833	0.54	0.591	1.45	0.37	5.64
at/ee	1.01703	0.229254	4.44	0.000	2.76	1.76	4.33

Binary Logistic Regression: ok versus formació

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	1.38629	1.11803	1.24	0.215			
formació							
1	-0.840247	1.12467	-0.75	0.455	0.43	0.05	3.91
2	-1.38629	1.23924	-1.12	0.263	0.25	0.02	2.84
3	-1.46968	1.15476	-1.27	0.203	0.23	0.02	2.21

Binary Logistic Regression: ok versus exp-cons

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	0.306951	0.170375	1.80	0.072			
exp-cons	0.0115042	0.0110268	1.04	0.297	1.01	0.99	1.03

Binary Logistic Regression: ok versus exp-pat

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	0.480708	0.119115	4.04	0.000			
exp-pat	-0.0165424	0.0225453	-0.73	0.463	0.98	0.94	1.03

Binary Logistic Regression: ok versus tiempo

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	0.838480	0.180133	4.65	0.000			
temps	-0.0066055	0.0024096	-2.74	0.006	0.99	0.99	1.00

Tabla III. 13. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=0 (en recuadro los resultados significativos a un nivel de confianza del 95%)

Para el Grado 1:

ok	1	185 (Event)
	0	173
Total		358

Binary Logistic Regression: ok versus titulación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.283362	0.173863	-1.63	0.103			
titulació							
at-a	0.0602189	0.692985	0.09	0.931	1.06	0.27	4.13
at/ee	0.584687	0.222143	2.63	0.008	1.79	1.16	2.77

Binary Logistic Regression: ok versus formación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.405465	0.912871	-0.44	0.657			
formació							
1	0.563871	0.920416	0.61	0.540	1.76	0.29	10.67
2	-0.182322	1.06979	-0.17	0.865	0.83	0.10	6.78
3	0.154151	0.958118	0.16	0.872	1.17	0.18	7.63

Binary Logistic Regression: ok versus exp-cons

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.0472643	0.166070	-0.28	0.776			
exp-cons	0.0094432	0.0105961	0.89	0.373	1.01	0.99	1.03

Binary Logistic Regression: ok versus exp-pat

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.0596481	0.116631	-0.51	0.609			
exp-pat	0.0644761	0.0264286	2.44	0.015	1.07	1.01	1.12

Binary Logistic Regression: ok versus tiempo

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	0.189946	0.168921	1.12	0.261			
temps	-0.0020900	0.0022436	-0.93	0.352	1.00	0.99	1.00

Tabla III. 14. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=1 (en recuadro los resultados significativos a un nivel de confianza del 95%)

Para el Grado 2:

ok	1	119 (Event)
	0	239
Total	358	

Binary Logistic Regression: ok versus titulación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-1.04982	0.196396	-5.35	0.000			
titulación							
at-a	1.27297	0.698979	1.82	0.069	3.57	0.91	14.05
at/ee	0.513995	0.242151	2.12	0.034	1.67	1.04	2.69

Binary Logistic Regression: ok versus formación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-1.38629	1.11803	-1.24	0.215			
formación							
1	0.723919	1.12486	0.64	0.520	2.06	0.23	18.70
2	1.09861	1.24164	0.88	0.376	3.00	0.26	34.20
3	0.395896	1.16426	0.34	0.734	1.49	0.15	14.55

Binary Logistic Regression: ok versus exp-cons

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.753101	0.176458	-4.27	0.000			
exp-cons	0.0045679	0.0110879	0.41	0.680	1.00	0.98	1.03

Binary Logistic Regression: ok versus exp-pat

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.742688	0.123200	-6.03	0.000			
exp-pat	0.0210275	0.0228574	0.92	0.358	1.02	0.98	1.07

Binary Logistic Regression: ok versus tiempo

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.753840	0.177392	-4.25	0.000			
tiempo	0.0009549	0.0023089	0.41	0.679	1.00	1.00	1.01

Tabla III. 15. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=2 (en recuadro los resultados significativos a un nivel de confianza del 95%)

Para el Grado 3:

ok	1	119 (Event)
	0	239
	Total	358

Binary Logistic Regression: ok versus titulación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI Lower	95% CI Upper
Constant	-0.900787	0.189889	-4.74	0.000			
titulació							
at-a	-0.351976	0.823963	-0.43	0.669	0.70	0.14	3.54
at/ee	0.263209	0.238147	1.11	0.269	1.30	0.82	2.08

Binary Logistic Regression: ok versus formació

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI Lower	95% CI Upper
Constant	-0.405465	0.912871	-0.44	0.657			
formació							
1	-0.272258	0.921259	-0.30	0.768	0.76	0.13	4.63
2	-0.510826	1.08781	-0.47	0.639	0.60	0.07	5.06
3	-0.807558	0.975330	-0.83	0.408	0.45	0.07	3.02

Binary Logistic Regression: ok versus exp-cons

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI Lower	95% CI Upper
Constant	-0.937004	0.179804	-5.21	0.000			
exp-cons	0.0152435	0.0110400	1.38	0.167	1.02	0.99	1.04

Binary Logistic Regression: ok versus exp-pat

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI Lower	95% CI Upper
Constant	-0.727425	0.123566	-5.89	0.000			
exp-pat	-0.0101202	0.0247297	-0.41	0.682	0.99	0.94	1.04

Binary Logistic Regression: ok versus tiempo

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI Lower	95% CI Upper
Constant	-0.347110	0.196696	-1.76	0.078			
tiempo	-0.0072132	0.0030540	-2.36	0.018	0.99	0.99	1.00

Tabla III. 16. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=3 (en recuadro los resultados significativos a un nivel de confianza del 95%)

Para el Grado 4:

ok	1	66 (Event)
	0	292
Total	358	

Binary Logistic Regression: ok versus titulación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-2.07944	0.273861	-7.59	0.000			
titulación							
at-a	-19.7358	11037.0	-0.00	0.999	0.00	0.00	*
at/ee	0.917517	0.317400	2.89	0.004	2.50	1.34	4.66

Binary Logistic Regression: ok versus formación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-21.8152	14807.6	-0.00	0.999			
formación							
1	20.4246	14807.6	0.00	0.999	7.41837E+08	0.00	*
2	20.0235	14807.6	0.00	0.999	4.96689E+08	0.00	*
3	19.8693	14807.6	0.00	0.999	4.25734E+08	0.00	*

Binary Logistic Regression: ok versus exp-cons

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-1.73544	0.219487	-7.91	0.000			
exp-cons	0.0194731	0.0128389	1.52	0.129	1.02	0.99	1.05

Binary Logistic Regression: ok versus exp-pat

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-1.51799	0.149690	-10.14	0.000			
exp-pat	0.0141187	0.0269931	0.52	0.601	1.01	0.96	1.07

Binary Logistic Regression: ok versus tiempo

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-1.53547	0.214659	-7.15	0.000			
tiempo	0.0008141	0.0027638	0.29	0.768	1.00	1.00	1.01

Tabla III. 17. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=4 (en recuadro los resultados significativos a un nivel de confianza del 95%)

Para el Grado 5:

ok	1	114 (Event)
	0	244
Total		358

Binary Logistic Regression: ok versus titulación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-1.01160	0.194625	-5.20	0.000			
titulación							
at-a	-0.241162	0.825067	-0.29	0.770	0.79	0.16	3.96
at/ee	0.415081	0.241419	1.72	0.086	1.51	0.94	2.43

Binary Logistic Regression: ok versus formación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.405465	0.912871	-0.44	0.657			
formación							
1	-0.318773	0.921391	-0.35	0.729	0.73	0.12	4.42
2	-0.510826	1.08781	-0.47	0.639	0.60	0.07	5.06
3	-0.584934	0.968931	-0.60	0.546	0.56	0.08	3.72

Binary Logistic Regression: ok versus exp-cons

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.751724	0.177863	-4.23	0.000			
exp-cons	-0.0007631	0.0113179	-0.07	0.946	1.00	0.98	1.02

Binary Logistic Regression: ok versus exp-pat

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.840328	0.125249	-6.71	0.000			
exp-pat	0.0360123	0.0228548	1.58	0.115	1.04	0.99	1.08

Binary Logistic Regression: ok versus tiempo

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.808155	0.179381	-4.51	0.000			
tiempo	0.0007978	0.0023370	0.34	0.733	1.00	1.00	1.01

Tabla III. 18. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=5 (en recuadro los resultados significativos a un nivel de confianza del 95%)

Para el Grado 6:

ok	1	111 (Event)
	0	247
Total		358

Binary Logistic Regression: ok versus titulación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-0.974050	0.192954	-5.05	0.000			
titulació							
at-a	-20.4351	9008.94	-0.00	0.998	0.00	0.00	*
at/ee	0.336472	0.240598	1.40	0.162	1.40	0.87	2.24

Binary Logistic Regression: ok versus formació

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-1.38629	1.11803	-1.24	0.215			
formació							
1	0.550425	1.12530	0.49	0.625	1.73	0.19	15.74
2	1.38629	1.23924	1.12	0.263	4.00	0.35	45.38
3	0.597837	1.16059	0.52	0.606	1.82	0.19	17.68

Binary Logistic Regression: ok versus exp-cons

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-0.931258	0.180736	-5.15	0.000			
exp-cons	0.0106582	0.0111764	0.95	0.340	1.01	0.99	1.03

Binary Logistic Regression: ok versus exp-pat

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-0.887811	0.126381	-7.02	0.000			
exp-pat	0.0396199	0.0229206	1.73	0.084	1.04	0.99	1.09

Binary Logistic Regression: ok versus tiempo

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-0.842083	0.180699	-4.66	0.000			
tiempo	0.0007142	0.0023557	0.30	0.762	1.00	1.00	1.01

Tabla III. 19. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=6 (en recuadro los resultados significativos a un nivel de confianza del 95%)

Para el Grado 7:

ok	1	158 (Event)
	0	200
Total		358

Binary Logistic Regression: ok versus titulación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-0.436427	0.176247	-2.48	0.013			
titulación							
at-a	0.659571	0.693587	0.95	0.342	1.93	0.50	7.53
at/ee	0.305399	0.223237	1.37	0.171	1.36	0.88	2.10

Binary Logistic Regression: ok versus formación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-0.405465	0.912871	-0.44	0.657			
formación							
1	0.121791	0.920520	0.13	0.895	1.13	0.19	6.86
2	-0.182322	1.06979	-0.17	0.865	0.83	0.10	6.78
3	0.572519	0.957731	0.60	0.550	1.77	0.27	11.58

Binary Logistic Regression: ok versus exp-cons

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-0.419906	0.168097	-2.50	0.012			
exp-cons	0.0150980	0.0106045	1.42	0.155	1.02	0.99	1.04

Binary Logistic Regression: ok versus exp-pat

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-0.310025	0.116975	-2.65	0.008			
exp-pat	0.0354173	0.0230163	1.54	0.124	1.04	0.99	1.08

Binary Logistic Regression: ok versus tiempo

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI	
						Lower	Upper
Constant	-0.280223	0.168859	-1.66	0.097			
tiempo	0.0007554	0.0022223	0.34	0.734	1.00	1.00	1.01

Tabla III. 20. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=7 (en recuadro los resultados significativos a un nivel de confianza del 95%)

Para el Grado 8:

ok	1	147 (Event)
	0	211
	Total	358

Binary Logistic Regression: ok versus titulación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI Lower	95% CI Upper
Constant	-0.253196	0.173514	-1.46	0.145			
titulación							
at-a	0.476339	0.692897	0.69	0.492	1.61	0.41	6.26
at/ee	-0.203161	0.223134	-0.91	0.363	0.82	0.53	1.26

Binary Logistic Regression: ok versus formación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI Lower	95% CI Upper
Constant	-0.405465	0.912871	-0.44	0.657			
formación							
1	-0.0057307	0.920689	-0.01	0.995	0.99	0.16	6.04
2	-1.38629	1.19024	-1.16	0.244	0.25	0.02	2.58
3	0.656780	0.958118	0.69	0.493	1.93	0.29	12.61

Binary Logistic Regression: ok versus exp-cons

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI Lower	95% CI Upper
Constant	-0.155929	0.168592	-0.92	0.355			
exp-cons	-0.0171925	0.0110292	-1.56	0.119	0.98	0.96	1.00

Regresión Logística 44) Binary Logistic Regression: ok versus exp-pat

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI Lower	95% CI Upper
Constant	-0.277629	0.117572	-2.36	0.018			
exp-pat	-0.0426530	0.0257724	-1.65	0.098	0.96	0.91	1.01

Binary Logistic Regression: ok versus tiempo

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds Ratio	95% CI Lower	95% CI Upper
Constant	-0.262153	0.172174	-1.52	0.128			
tiempo	-0.0016994	0.0023204	-0.73	0.464	1.00	0.99	1.00

Tabla III. 21. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=8 (en recuadro los resultados significativos a un nivel de confianza del 95%)

Para el Grado 9:

ok	1	109 (Event)
	0	249
Total		358

Binary Logistic Regression: ok versus titulación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.693147	0.182574	-3.80	0.000			
titulación							
at-a	-0.0000000	0.730297	-0.00	1.000	1.00	0.24	4.18
at/ee	-0.226417	0.237198	-0.95	0.340	0.80	0.50	1.27

Binary Logistic Regression: ok versus formación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-1.38629	1.11803	-1.24	0.215			
formación							
1	0.566663	1.12525	0.50	0.615	1.76	0.19	15.99
2	1.38629	1.23924	1.12	0.263	4.00	0.35	45.38
3	0.287682	1.16667	0.25	0.805	1.33	0.14	13.12

Binary Logistic Regression: ok versus exp-cons

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.744235	0.179543	-4.15	0.000			
exp-cons	-0.0068256	0.0116365	-0.59	0.557	0.99	0.97	1.02

Binary Logistic Regression: ok versus exp-pat

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.792677	0.125281	-6.33	0.000			
exp-pat	-0.0166161	0.0258153	-0.64	0.520	0.98	0.93	1.03

Binary Logistic Regression: ok versus tiempo

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.907884	0.181209	-5.01	0.000			
tiempo	0.0013766	0.0023371	0.59	0.556	1.00	1.00	1.01

Tabla III. 22. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=9 (en recuadro los resultados significativos a un nivel de confianza del 95%)

Para el Grado 10:

ok	1	120 (Event)
	0	238
Total		358

Binary Logistic Regression: ok versus titulación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.467597	0.176859	-2.64	0.008			
titulación							
at-a	-0.785166	0.821058	-0.96	0.339	0.46	0.09	2.28
at/ee	-0.339961	0.230624	-1.47	0.140	0.71	0.45	1.12

Binary Logistic Regression: ok versus formación

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.405465	0.912870	-0.44	0.657			
formación							
1	-0.241638	0.921177	-0.26	0.793	0.79	0.13	4.78
2	-0.182322	1.06979	-0.17	0.865	0.83	0.10	6.78
3	-0.584934	0.968929	-0.60	0.546	0.56	0.08	3.72

Binary Logistic Regression: ok versus exp-cons

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.586542	0.175082	-3.35	0.001			
exp-cons	-0.0081925	0.0113560	-0.72	0.471	0.99	0.97	1.01

Binary Logistic Regression: ok versus exp-pat

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.643991	0.122162	-5.27	0.000			
exp-pat	-0.0203299	0.0253414	-0.80	0.422	0.98	0.93	1.03

Binary Logistic Regression: ok versus tiempo

Predictor	Coef	SE Coef	Z	P	Odds	95% CI	
					Ratio	Lower	Upper
Constant	-0.488010	0.183824	-2.65	0.008			
tiempo	-0.0034282	0.0026046	-1.32	0.188	1.00	0.99	1.00

Tabla III. 23. Resultados de la estimación de los modelos univariantes de regresión logística para la variable ok, ajustados por las variables predictorias, para el grado GR=10 (en recuadro los resultados significativos a un nivel de confianza del 95%)

III.4. DATOS RECOPIADOS DE LA MUESTRA TOTAL

Como parte final de este anexo en la *Figura III. 34.* se incluye una parte los datos recogidos de la muestra total. Como se ha referido, el ensayo ha consistido en mostrar 33 imágenes de elementos constructivos a una población de 374 técnicos, para que les asignen un grado de gravedad G a cada imagen según las definiciones genéricas de la escala, de forma que la cantidad de datos recogidos es de 12.342 valores de G asignados. En esta sección se incluyen los valores de G asignados por los primeros 58 técnicos (de ID = 101 a ID = 516) de la muestra total de 374 técnicos, apareciendo por tanto 1.914 valores de G asignados del total de 12.342.

ID	tit	exp-con	exp-pat	formac	t	fot. N°1	fot. N°2	fot. N°3	fot. N°4
valor real	-	-	-	-	-	3	5	0	7
101	a	2.5	0	1	90	2	6	0	8
102	at-e	7	0	1	15	3	7	0	7
103	at	5	1	1	35	3	5	1	5
104	at	5	0	1	25	2	5	0	6
105	at	8	2	1	120	2	7	0	6
106	at	13	0	1	180	3	8	3	9
107	at	17	0	1	60	3	6	0	7
108	at	13	0	1	40	1	5	1	7
109	at	6	0	1	60	4	7	0	8
201	a	13	5	1	75	1	4	0	8
202	a	6	0	1	60	2	4	0	5
203	a	3	1	1	90	1	7	1	6
204	at-e	3	0	1	60	4	6	1	7
205	a	2	0	1	57	2	7	0	7
206	a	9	0	1	60	2	5	0	7
207	a	9	0	1	25	1	6	0	7
208	a	7	0	1	60	3	6	0	8
209	a	15	0	1	60	2	6	0	9
210	a	4	1	1	30	4	8	0	7
211	a	14	0	1	165	2	7	0	8
212	a	6	0	1	90	1	5	0	6
213	a	22	0	1	35	2	5	0	7
214	a	17	0	1	210	4	7	0	8
215	a	8	5	3	20	1	6	0	4
301	at	30	6	1	50	1	6	0	7
302	eie	0.5	0	1	100	1	4	0	6
303	at	2.5	0	1	40	1	5	0	7
304	at	3.5	0	1	70	2	6	0	7
305	at	6	10	1	45	3	6	0	8
306	at	1	0	3	30	1	4	0	7
307	at	40	3	1	20	1	6	0	6
308	at	6	0	1	40	2	4	0	5
309	at	5	1	3	75	4	8	0	9
310	at	10	4	1	20	2	5	0	7
401	at	24	15	0	20	1	7	0	8
402	at	25	5	3	20	4	6	0	7
403	at	22	3	3	40	1	8	0	6
404	at	20	0	0	20	1	5	0	8
405	at	2	0	0	40	2	4	0	7
406	at	5	0	0	40	4	6	0	6
407	at	15	0	0	40	2	4	0	6
408	at	11	5	3	20	2	8	1	9
501	a	4	2	1	40	3	8	1	6
502	a	2	0	1	55	2	7	0	6
503	a	10	0	1	45	1	8	0	9
504	a	8	0	1	25	2	7	0	9
505	a	3	0	1	44	5	6	0	8
506	a	22	1	1	60	3	6	0	8
507	a	3	0	1	45	2	6	0	6
508	a	7	0	1	90	4	8	0	9
509	a	4	0	1	86	2	5	0	8
510	a	10	0	1	30	3	7	0	5
511	a	10	0	1	45	1	4	0	6
512	a	5	0	1	45	2	5	0	7
513	a	5	0	1	45	4	7	0	8
514	a	5	0	1	60	5	9	0	8
515	a	8	2	1	30	3	8	1	7
516	a	0	0	1	40	4	8	0	9

Figura III. 34. Muestra de datos recogidos en 58 técnicos (ID=101 a ID=516) de la muestra total de 374 técnicos

ID	fot. N°5	fot. N°6	fot. N°7	fot. N°8	fot. N°9	fot. N°10	fot. N°11	fot. N°12
valor real	9	1	3	2	8	7	10	6
101	8	2	5	4	8	7	10	8
102	8	1	4	2	9	5	10	7
103	9	2	3	1	8	7	10	5
104	9	1	2	1	9	6	10	5
105	7	1	5	3	7	8	8	8
106	10	5	6	6	10	7	10	7
107	9	1	1	0	10	8	10	8
108	8	1	1	2	9	5	10	7
109	7	3	4	0	8	8	9	8
201	8	2	4	0	7	7	10	6
202	8	1	4	4	9	5	9	8
203	7	4	4	2	7	4	7	5
204	8	1	6	4	7	7	8	6
205	7	1	4	1	6	7	9	8
206	7	0	4	1	6	5	9	4
207	7	1	5	3	9	6	10	6
208	10	2	5	0	8	7	10	4
209	9	1	4	0	9	7	0	8
210	8	1	6	4	8	9	10	8
211	7	1	4	2	7	7	9	8
212	7	1	5	1	8	6	8	5
213	7	1	5	0	8	6	9	5
214	9	2	5	1	8	7	10	7
215	7	1	3	1	7	6	8	5
301	8	2	4	3	8	6	9	7
302	8	0	3	0	7	5	9	4
303	8	0	4	0	8	5	9	5
304	9	1	4	3	9	7	10	5
305	9	1	3	6	9	6	10	8
306	8	0	3	3	6	6	8	4
307	9	2	4	6	7	6	9	8
308	8	1	3	0	10	5	10	6
309	9	2	4	3	8	8	10	8
310	8	4	6	7	9	6	10	6
401	9	5	5	6	10	7	10	9
402	7	2	6	1	8	6	8	7
403	6	1	5	1	8	7	10	8
404	8	0	4	0	7	5	9	6
405	8	1	3	0	8	5	9	4
406	9	2	4	6	9	6	10	7
407	8	1	2	0	7	4	9	5
408	10	2	3	1	7	4	9	9
501	5	2	4	3	6	6	7	7
502	7	1	6	0	5	7	10	7
503	7	2	5	4	7	7	10	8
504	9	2	5	2	9	8	10	8
505	9	6	7	3	9	6	10	7
506	9	2	6	3	7	6	10	6
507	7	1	7	0	9	7	10	6
508	8	3	6	4	7	8	10	8
509	7	2	5	6	5	7	8	7
510	7	5	6	5	8	8	10	9
511	7	1	5	5	7	7	9	7
512	8	1	4	3	9	6	8	5
513	9	2	6	5	9	7	8	7
514	8	3	4	7	8	6	9	7
515	8	3	5	2	9	8	8	6
516	8	3	6	5	8	8	10	8

Figura III. 34. (Cont.) Muestra de datos recogidos en 58 técnicos (ID=101 a ID=516) de la muestra total de 374 técnicos

ID	fol. Nº13	fol. Nº14	fol. Nº15	fol. Nº16	fol. Nº17	fol. Nº18	fol. Nº19	fol. Nº20
valor real	4	3	6	8	0	2	9	5
101	6	3	7	4	1	2	9	4
102	4	6	8	7	0	2	8	7
103	2	2	5	7	1	2	9	4
104	2	2	5	7	0	1	9	4
105	5	5	7	6	2	4	7	7
106	7	7	10	10	0	6	6	8
107	1	5	8	8	0	1	9	5
108	2	4	8	8	1	3	9	4
109	6	5	7	8	0	4	7	5
201	4	2	6	6	0	1	10	7
202	4	3	8	7	0	1	7	3
203	5	5	4	5	2	2	9	6
204	6	4	7	6	4	4	9	5
205	4	4	7	6	3	2	9	5
206	4	5	7	5	0	3	7	6
207	6	3	7	7	0	2	9	5
208	4	5	7	7	1	1	10	7
209	4	3	7	5	0	4	9	7
210	7	6	8	9	1	4	9	8
211	4	5	8	6	3	3	9	6
212	5	4	5	8	1	5	10	6
213	6	4	7	6	0	2	8	4
214	5	6	7	7	0	3	10	7
215	3	3	7	4	1	3	7	4
301	2	5	6	6	0	2	7	5
302	3	2	6	6	0	1	7	3
303	4	3	8	4	0	3	9	3
304	4	1	7	6	0	4	9	3
305	3	4	8	6	0	3	9	7
306	3	1	7	5	0	1	7	3
307	4	3	5	6	0	1	6	6
308	3	2	7	6	0	1	10	2
309	5	4	8	9	3	6	9	7
310	6	5	9	5	0	2	5	6
401	5	2	6	6	4	3	8	4
402	6	3	7	6	0	1	7	3
403	6	2	6	7	0	2	7	4
404	4	4	6	6	0	4	7	4
405	3	1	9	8	0	1	7	2
406	4	5	8	6	0	4	9	6
407	2	2	3	4	0	2	6	4
408	3	3	5	7	1	4	9	6
501	5	4	5	4	3	4	6	6
502	6	5	6	5	0	4	9	7
503	6	4	8	9	2	4	9	7
504	5	2	7	6	0	3	7	6
505	5	8	7	8	0	2	9	6
506	6	4	6	5	0	2	8	6
507	7	2	9	5	0	1	8	4
508	6	4	8	5	0	2	8	5
509	5	4	5	8	0	5	8	6
510	6	3	6	6	3	2	7	6
511	5	5	6	5	0	1	8	9
512	4	4	7	7	0	3	7	6
513	6	5	6	6	3	3	8	7
514	4	4	7	4	1	2	8	6
515	6	4	8	8	2	4	9	7
516	6	6	8	7	1	5	8	6

Figura III. 34. (Cont.) Muestra de datos recogidos en 58 técnicos (ID=101 a ID=516) de la muestra total de 374 técnicos

ID	foto. N°21	foto. N°22	foto. N°23	foto. N°24	foto. N°25	foto. N°26	foto. N°27	foto. N°28
valor real	1	4	10	7	0	5	9	1
101	1	2	10	9	0	6	8	1
102	2	6	10	8	1	7	9	2
103	2	4	10	7	0	5	9	1
104	1	3	10	7	0	4	9	0
105	2	6	10	7	2	7	9	3
106	0	7	10	9	4	8	10	2
107	0	6	10	9	0	7	10	0
108	1	5	10	8	1	4	10	1
109	0	7	10	9	2	5	10	2
201	0	6	10	7	1	4	10	1
202	0	3	10	8	1	4	9	1
203	1	6	10	8	3	5	9	4
204	1	7	10	7	2	6	9	3
205	0	5	10	9	1	4	9	1
206	0	2	10	7	0	6	7	0
207	0	7	10	8	0	4	10	1
208	0	6	10	8	2	5	9	4
209	0	7	10	8	1	5	0	1
210	0	8	10	9	1	7	9	2
211	0	5	10	8	1	6	10	1
212	0	6	10	7	1	5	9	1
213	1	7	10	8	0	5	10	0
214	0	6	10	7	2	7	9	4
215	1	5	9	8	1	3	8	1
301	1	6	10	7	1	5	7	0
302	0	3	10	7	0	4	9	1
303	0	4	10	8	0	2	9	0
304	0	7	10	8	0	5	9	1
305	0	8	10	9	1	4	10	1
306	0	1	9	6	0	5	8	0
307	0	6	10	6	1	6	7	1
308	0	4	10	7	0	6	9	0
309	1	7	10	9	2	5	9	3
310	0	3	10	8	0	4	9	1
401	3	6	10	8	2	4	8	0
402	0	5	10	8	0	6	8	1
403	0	3	10	5	0	2	6	1
404	0	5	10	7	0	5	7	1
405	0	3	10	7	0	1	9	1
406	1	8	10	8	1	6	9	2
407	0	3	10	7	1	2	8	1
408	1	7	10	10	2	5	10	1
501	2	6	9	5	2	5	7	2
502	0	8	10	8	1	3	9	1
503	0	7	10	8	2	5	7	3
504	0	6	10	9	1	3	9	1
505	3	6	10	8	2	6	9	1
506	0	7	10	8	2	5	8	3
507	0	6	10	9	4	5	9	4
508	0	8	10	8	1	7	8	2
509	1	7	10	8	3	4	9	3
510	0	6	10	7	1	4	9	3
511	1	6	10	7	1	5	7	1
512	1	4	9	6	1	4	8	2
513	0	7	10	8	3	5	10	2
514	1	6	9	7	2	6	7	1
515	2	5	10	8	4	6	9	2
516	1	7	10	8	4	6	9	1

Figura III. 34. (Cont.) Muestra de datos recogidos en 58 técnicos (ID=101 a ID=516) de la muestra total de 374 técnicos

ID	tot. N°29	tot. N°30	tot. N°31	tot. N°32	tot. N°33
valor real	10	8	2	4	6
101	8	8	2	4	5
102	9	9	3	5	6
103	10	9	3	4	6
104	10	8	1	3	5
105	8	9	2	6	6
106	10	10	5	7	8
107	9	10	2	3	6
108	9	9	1	3	5
109	9	9	2	5	6
201	10	9	2	6	5
202	9	7	2	2	4
203	9	8	1	4	6
204	9	8	4	5	7
205	10	8	3	4	7
206	8	6	1	2	4
207	9	8	1	3	7
208	10	9	3	4	7
209	0	10	1	4	8
210	9	10	4	7	8
211	10	9	4	3	7
212	10	10	5	7	8
213	10	9	1	7	9
214	10	10	3	7	7
215	8	5	1	2	5
301	8	7	1	1	5
302	9	9	0	3	3
303	9	6	0	4	4
304	10	8	1	6	7
305	8	10	6	5	9
306	7	6	0	2	3
307	8	8	1	2	5
308	8	9	0	3	5
309	10	8	2	6	8
310	7	9	3	4	5
401	9	10	2	4	7
402	6	8	2	5	5
403	6	7	1	3	5
404	8	8	2	5	5
405	8	7	1	3	3
406	9	9	2	7	8
407	9	9	2	3	3
408	10	9	2	5	7
501	6	7	3	5	6
502	9	9	2	4	8
503	10	9	1	6	7
504	10	10	2	3	6
505	10	9	3	4	5
506	7	8	3	7	6
507	9	7	1	4	5
508	9	8	3	4	5
509	8	7	4	5	7
510	8	9	2	4	6
511	7	8	2	4	6
512	8	6	3	4	5
513	9	9	3	6	7
514	9	9	3	5	9
515	9	7	2	4	6
516	9	9	3	6	6

Figura III. 34. (Cont.) Muestra de datos recogidos en 58 técnicos (ID=101 a ID=516) de la muestra total de 374 técnicos

ANEXO IV

SISTEMA DE EVALUACIÓN DE FACHADAS (SEF)

IV.1. INTRODUCCIÓN

En el Capítulo 6 se ha realizado una propuesta para evaluar la gravedad basada en parámetros medibles de forma objetiva, de manera que se reduzca todo lo posible el grado de variabilidad a la hora de asignar un determinado grado de gravedad G . La metodología propuesta se ha aplicado a 7 casos de estudio, pero para reducir el cuerpo principal de la tesis, en el Capítulo 6 sólo se incluye la aplicación práctica de la metodología a uno de los 7 edificios. El objeto del presente Anexo es mostrar la aplicación práctica a todos los casos de estudio, es decir a los 7 edificios.

La propuesta presentada en el Capítulo 6 ha consistido en la selección oportuna de parámetros y en los métodos de cálculo asociados. El desarrollo de la metodología se ha centrado en evaluar la gravedad de fachadas, y es una alternativa a la escala de gravedad de asignación directa definida en la Sección 4.6 para el cálculo de la gravedad de una zona.

Para el desarrollo de la metodología se han seleccionado unos casos de estudio de fachadas con distintas disfunciones, tipologías constructivas y materiales, con objeto de incorporar el mayor número de casuísticas posibles. El número total de edificios seleccionados e inspeccionados por el doctorando ha sido, como se ha referido, de 7, con el objetivo de incorporar un amplio abanico de casuísticas, tanto en tipologías constructivas como en tipos de disfunciones. De esta manera hay edificios entre medianeras con una sola fachada principal, otros con 2 fachadas principales, y edificio aislado con 4 fachadas principales.

El rango de edades de los edificios de la muestra varía desde 30 años a más de 2 siglos de antigüedad. Existen gran variedad de materiales como fábrica de ladrillo, tapia, piedra, hormigón armado, perfiles metálicos, revestimientos de mortero, revestimientos de

aplacado, etc. Hay variadas disfunciones, como pérdida de sección en fábrica de ladrillo, fracturas en voladizo de piedra, fenómenos de carbonatación del hormigón y corrosión de armaduras, humedades, despegue del revestimiento, pérdida de sección de la tapia, oxidación de perfiles metálicos, etc.

IV.2. APLICACIÓN PRÁCTICA DE SEF A LOS CASOS DE ESTUDIO

En esta sección, tras mostrar en la *Tabla IV.1* las densidades utilizadas, se presentan ordenadamente los 7 casos de estudio. En cada uno de ellos, siguiendo el orden de la metodología propuesta en el Capítulo 6, se ilustran los siguientes aspectos:

- Alzado de fachadas
 - Delimitación de zonas degradadas
 - Cálculo de I_j
 - Cálculo de P_j
 - Cálculo de G_j
- }

Parte gráfica
- }

Parte numérica

MATERIAL		DENSIDAD (Kg/m ³)
MCA	Mortero de cemento y arena	2.100
MCCA	Mortero de cemento, cal y arena	1.900
HM	Hormigón en masa	2.300
HA	Hormigón armado	2.400
PP	Pintura plástica	1.500
FC	Fábrica cerámica (con ladrillo macizo)	1.800
PN	Piedra natural (caliza)	2.700
TAP	Tapia	1.800

Tabla IV.1. Densidades utilizadas

IV.2.1. Edificio A (caso real 1)



Figura IV.1. Caso real 1. Alzado fachada



Figura IV.2. Caso real 1. Detalles fotográficos

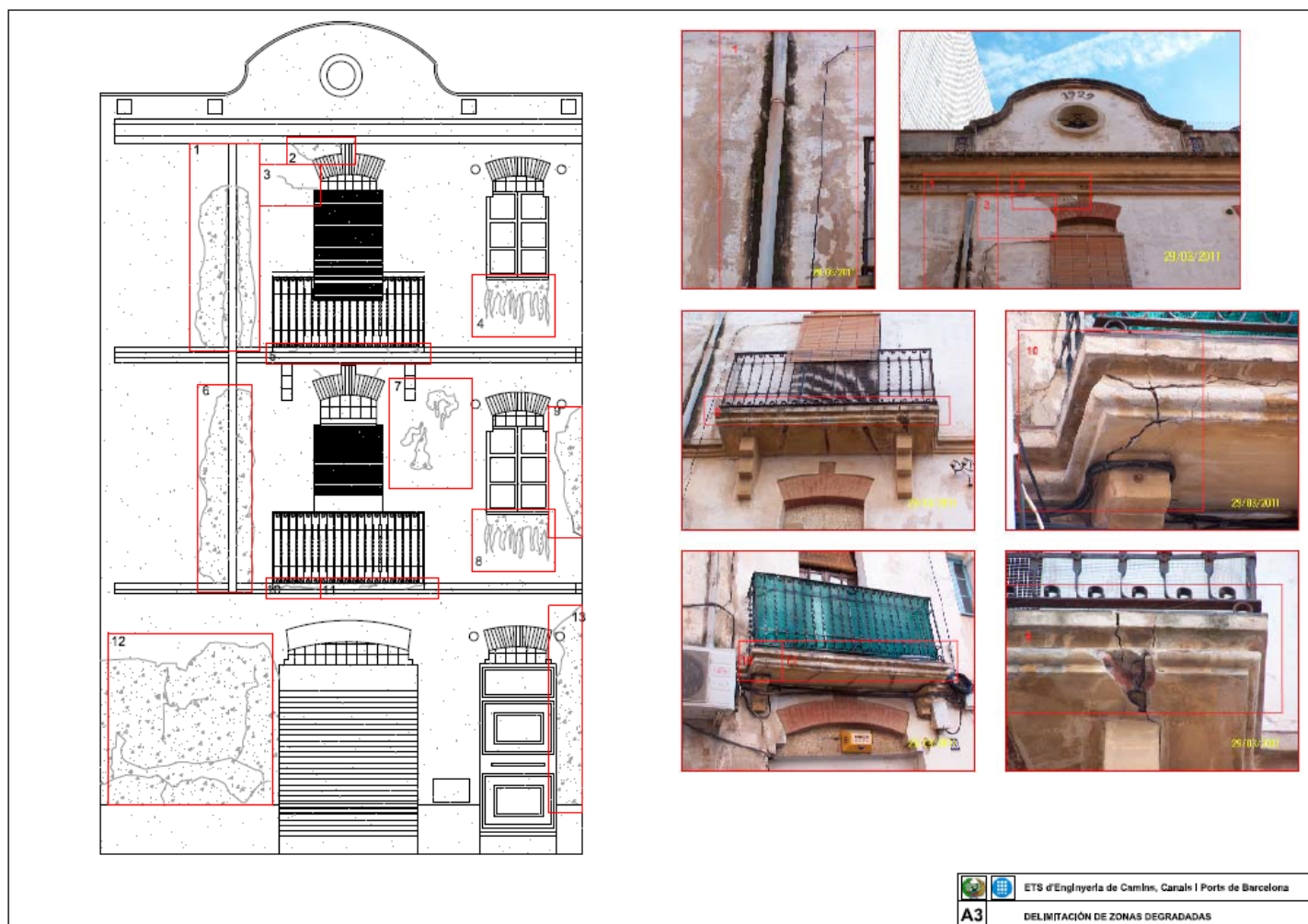


Figura IV.3. Caso real 1. Delimitación de zonas degradada

ID	SUP.	MATER.	ESPESOR	H_{cdg}	ls	SUP. CORREG.	DENS. MATER.	x_j	I_j
1	3,00	PP	0,002	8,8	1	3	1500	258,72	0,01
2	0,40	PP-MCA	0,01	10,2	0,25	0,1	2100	2.099,16	0,44
3	0,54	PP-MCA	0,01	9,7	1	0,54	2100	1.996,26	0,41
4	1,08	PP	0,01	7,95	0,5	0,54	1500	1.168,65	0,16
5	0,73	PN	0,05	7,24	1	0,73	2700	9.578,52	1,00
6	2,40	PP	0,01	5,29	1	2,4	1500	777,63	0,07
7	1,92	PP	0,01	6,1	0,75	1,44	1500	896,70	0,09
8	1,08	PP	0,01	4,55	0,5	0,54	1500	668,85	0,05
9	6,95	PP	0,01	5,53	0,25	1,73	1500	812,91	0,08
10	0,24	PN	0,05	3,85	1	0,24	2700	4.338,95	0,95
11	0,51	PN	0,05	3,85	1	0,51	2700	4.338,95	0,95
12	6,01	MCCA	0,01	1,95	0,25	1,50	1900	363,09	0,01
13	1,50	MCA	0,01	2,1	0,25	0,37	2100	432,18	0,02

Tabla IV.2. Cálculo de I_j para el caso real 1

ID	HUM	DES	G.DES	GRI	G.GRI	DES*GRI	y_j	P_j
1	1	0	0	0	0	0	0,68	0,03
2	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
3	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
4	1	0	0	0	0	0	0,68	0,03
5	0	1	0	1	1	1	3,75	0,99
6	1	0	0	0	0	0	0,68	0,03
7	0	0	0	0	0	0	0,27	0,00
8	1	0	0	0	0	0	0,68	0,03
9	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
10	0	1	1	1	1	1	4,33	1,00
11	0	1	0	1	1	1	3,75	0,99
12	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96
13	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89

Tabla IV.3. Cálculo de P_j para el caso real 1

ID	I_j	P_j	G_j
1	0,01	0,03	0
2	0,44	0,89	4
3	0,41	0,42	2
4	0,16	0,03	0
5	1,00	0,99	10
6	0,07	0,03	0
7	0,09	0,00	0
8	0,05	0,03	0
9	0,08	0,89	1
10	0,95	1,00	10
11	0,95	0,99	9
12	0,01	0,96	0
13	0,02	0,89	0

Tabla IV.4. Cálculo de G_j para el caso real 1

IV.2.2. Edificio B (caso real 2)

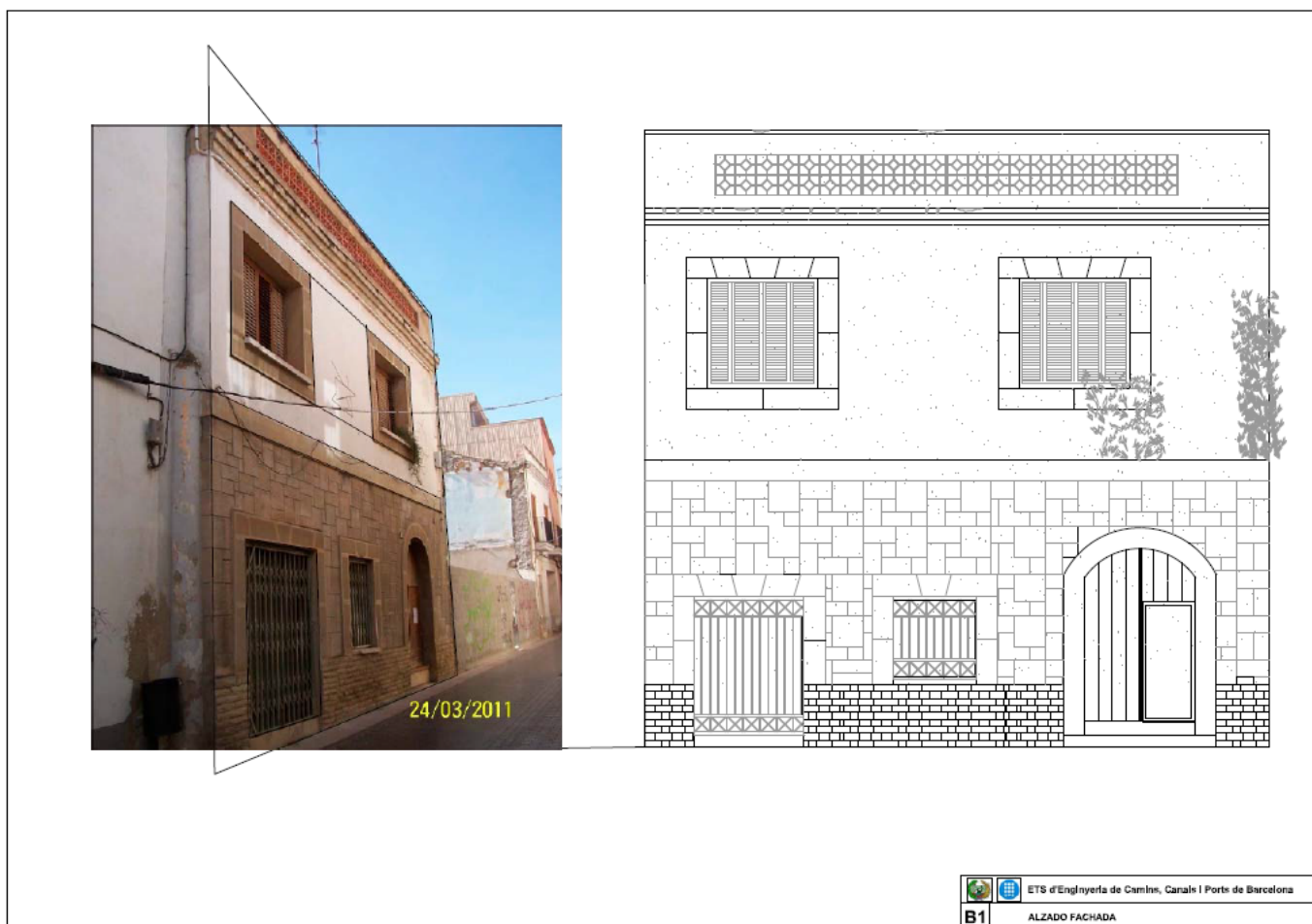


Figura IV.4. Caso real 2. Alzado fachada

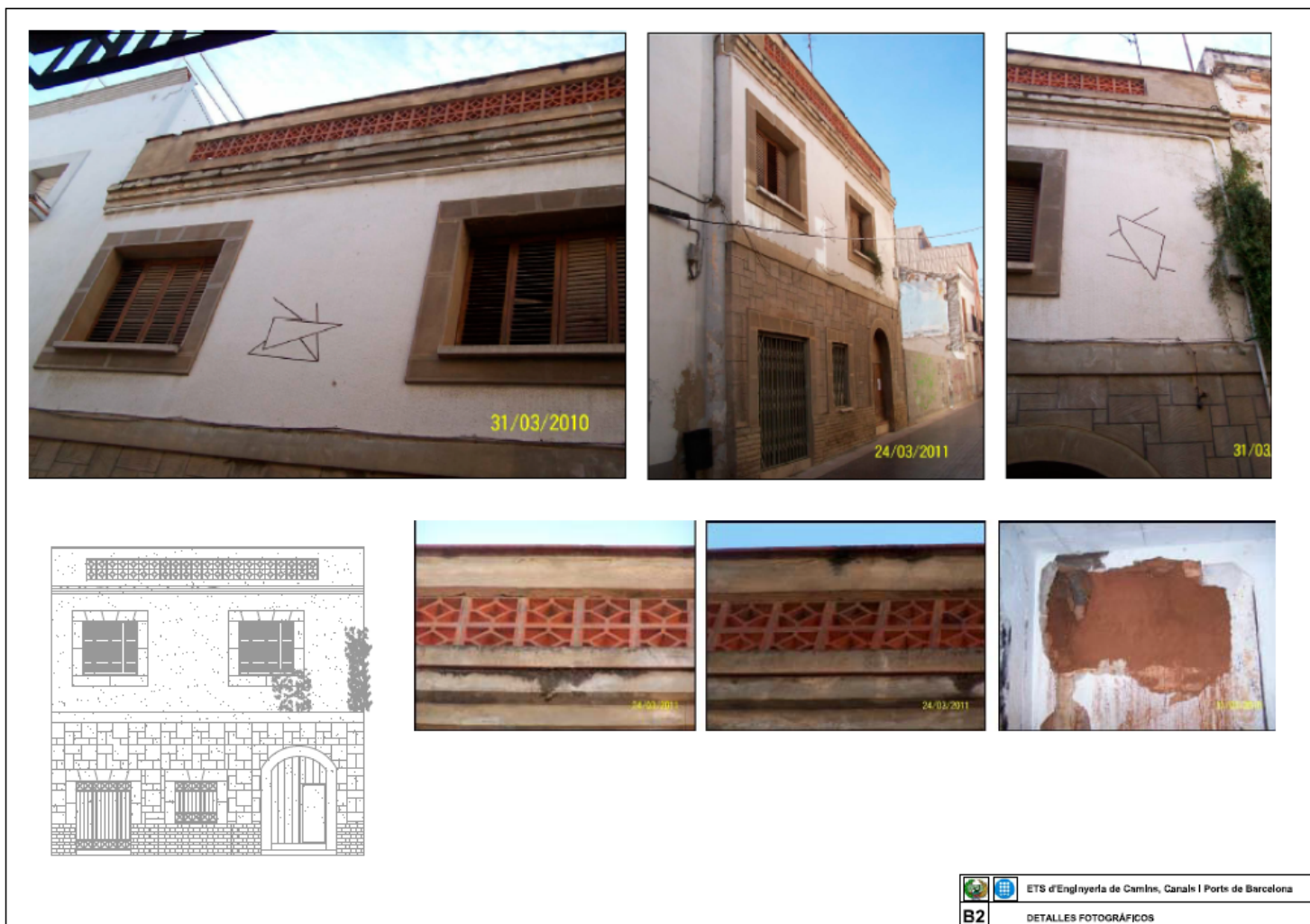


Figura IV.5. Caso real 2. Detalles fotográficos



Figura IV.6. Caso real 2. Delimitación de zonas degradadas

ID	SUP.	MATER.	ESPEJOR	H_{cdg}	ls	SUP. CORREG.	DENS. MATER.	x_j	I_j
1	2,12	MCCA	0,01	8,94	1	2,12	1900	1.664,63	0,30
2	2,64	MCCA	0,01	7,75	1	2,64	1900	1.443,05	0,23
3	12,69	TAP	0,3	6,55	1	12,69	1800	34.662,60	1,00

Tabla IV.5. Cálculo de I_j para el caso real 2

ID	HUM	DES	G.DES	GRI	G.GRI	DES*GRI	y_i	P_i
1	1	0	0	1	0	0	2,28	0,63
2	1	0	0	0	0	0	0,68	0,03
3	1	1	1	0	0	0	3,94	1,00

Tabla IV.6. Cálculo de P_j para el caso real 2

ID	I_j	P_j	G_j
1	0,30	0,63	2
2	0,23	0,03	0
3	1,00	1,00	10

Tabla IV.7. Cálculo de G_j para el caso real 2

IV.2.3. Edificio C (caso real 3)



Figura IV.7. Caso real 3. Alzados fachadas



Figura IV.8. Caso real 3. Delimitación de zonas degradadas de la fachada A

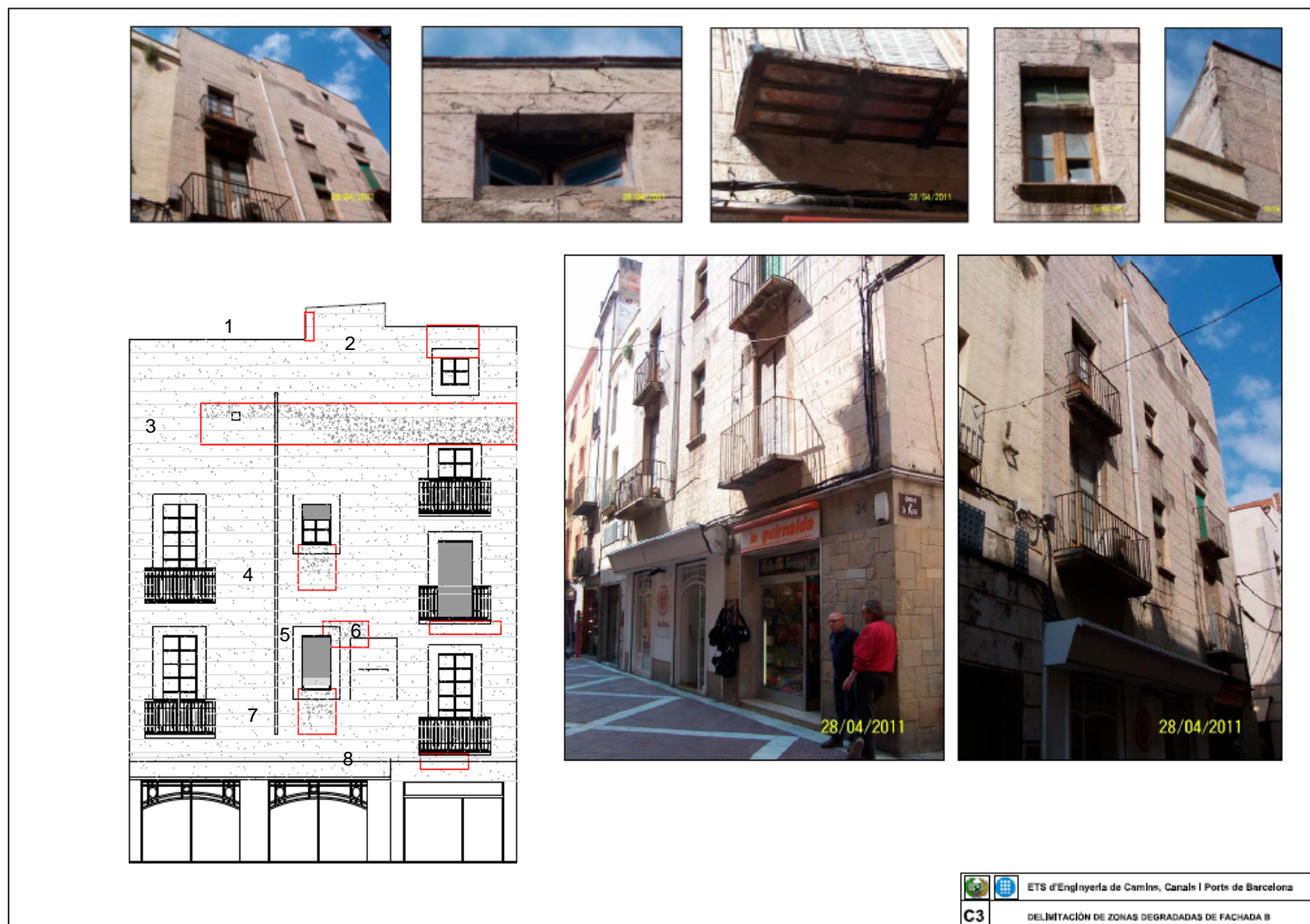


Figura IV.9. Caso real 3. Delimitación de zonas degradadas de la fachada B

ID	SUP. MATER.	ESPEJOR	H_{cdg}	ls	SUP. CORREG.	DENS. MATER.	x_j	I_j	
1	0,27	MCA	0,02	16,65	1	0,27	2100	6.853,14	1,00
2	1,60	MCA	0,02	16,20	1	1,60	2100	6.667,92	1,00
3	12,74	MCA	0,02	13,65	1	12,74	2100	5.618,34	1,00
4	1,68	MCA	0,02	9,20	1	1,68	2100	3.786,72	0,88
5	1,12	MCA	0,02	7,10	1	1,12	2100	2.922,36	0,69
6	0,88	MCA	0,02	7,30	1	0,88	2100	3.004,68	0,71
7	1,68	MCA	0,02	4,70	1	1,68	2100	1.934,52	0,39
8	0,75	MCA	0,02	3,15	1	0,75	2100	1.296,54	0,19
9	0,20	MCA	0,02	15,75	1	0,20	2100	6.482,70	1,00
10	0,21	MCA	0,02	14,75	1	0,21	2100	6.071,10	1,00
11	0,52	MCA	0,02	13,30	1	0,52	2100	5.474,28	1,00
12	1,35	MCA	0,02	16,25	1	1,35	2100	6.688,50	1,00
13	0,20	MCA	0,02	15,65	1	0,20	2100	6.441,54	1,00
14	0,08	MCA	0,02	14,80	1	0,08	2100	6.091,68	1,00
15	0,15	MCA	0,02	15,55	1	0,15	2100	6.400,38	1,00
16	3,12	MCA	0,02	13,75	1	3,12	2100	5.659,50	1,00
17	0,77	MCA	0,02	8,45	1	0,77	2100	3.478,02	0,82
18	2,00	MCA	0,02	10,20	1	2,00	2100	4.198,32	0,93
19	3,60	MCA	0,02	7,50	1	3,60	2100	3.087,00	0,73
20	0,33	MCA	0,02	6,65	1	0,33	2100	2.737,14	0,64
21	0,06	MCA	0,02	5,85	1	0,06	2100	2.407,86	0,54
22	0,12	MCA	0,02	6,00	1	0,12	2100	2.469,60	0,56
23	0,20	HA	0,15	3,40	1	0,20	2400	11.995,20	1,00
24	0,36	MCA	0,02	4,10	1	0,36	2100	1.687,56	0,31
25	1,68	MCA	0,02	6,85	1	1,68	2100	2.819,46	0,66
26	1,68	MCA	0,02	6,85	1	1,68	2100	2.819,46	0,66
27	0,88	MCA	0,02	7,60	1	0,88	2100	3.128,16	0,74
28	2,04	MCA	0,02	9,40	1	2,04	2100	3.869,04	0,89
29	0,77	MCA	0,02	11,95	1	0,77	2100	4.918,62	1,00
30	0,09	MCA	0,02	12,85	1	0,09	2100	5.289,06	1,00
31	0,24	MCA	0,02	14,00	1	0,24	2100	5.762,40	1,00
32	0,40	MCA	0,02	14,00	1	0,40	2100	5.762,40	1,00
33	0,90	MCA	0,02	14,55	1	0,90	2100	5.988,78	1,00

Tabla IV.8. Cálculo de I_j para el caso real 3

ID	HUM	DES	G.DES	GRI	G.GRI	DES*GRI	y_j	P_j
1	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
2	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
3	0	0	0	0	0	0	0,27	0,00
4	1	0	0	0	0	0	0,68	0,03
5	0	0	0	0	0	0	0,27	0,00
6	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
7	1	0	0	0	0	0	0,68	0,03
8	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
9	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
10	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
11	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
12	1	0	0	0	0	0	0,68	0,03
13	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
14	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
15	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
16	0	0	0	1	1	0	2,53	0,74
17	1	0	0	0	0	0	0,68	0,03
18	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
19	0	0	0	1	1	0	2,53	0,74
20	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
21	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
22	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
23	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
24	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
25	1	0	0	0	0	0	0,68	0,03
26	1	0	0	0	0	0	0,68	0,03
27	0	0	0	0	0	0	0,27	0,00
28	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
29	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
30	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
31	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
32	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
33	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42

Tabla IV.9. Cálculo de P_j para el caso real 3

ID	I_j	P_j	G_j
1	1,00	0,42	4
2	1,00	0,42	4
3	1,00	0,00	0
4	0,88	0,03	0
5	0,69	0,00	0
6	0,71	0,42	3
7	0,39	0,03	0
8	0,19	0,42	1
9	1,00	0,42	4
10	1,00	0,42	4
11	1,00	0,42	4
12	1,00	0,03	0
13	1,00	0,42	4
14	1,00	0,42	4
15	1,00	0,42	4
16	1,00	0,74	7
17	0,82	0,03	0
18	0,93	0,42	4
19	0,73	0,74	5
20	0,64	0,42	3
21	0,54	0,42	2
22	0,56	0,42	2
23	1,00	0,89	9
24	0,31	0,42	1
25	0,66	0,03	0
26	0,66	0,03	0
27	0,74	0,00	0
28	0,89	0,42	4
29	1,00	0,42	4
30	1,00	0,42	4
31	1,00	0,42	4
32	1,00	0,42	4
33	1,00	0,42	4

Tabla IV.10. Cálculo de G_j para el caso real 3

IV.2.4. Edificio D (caso real 4)

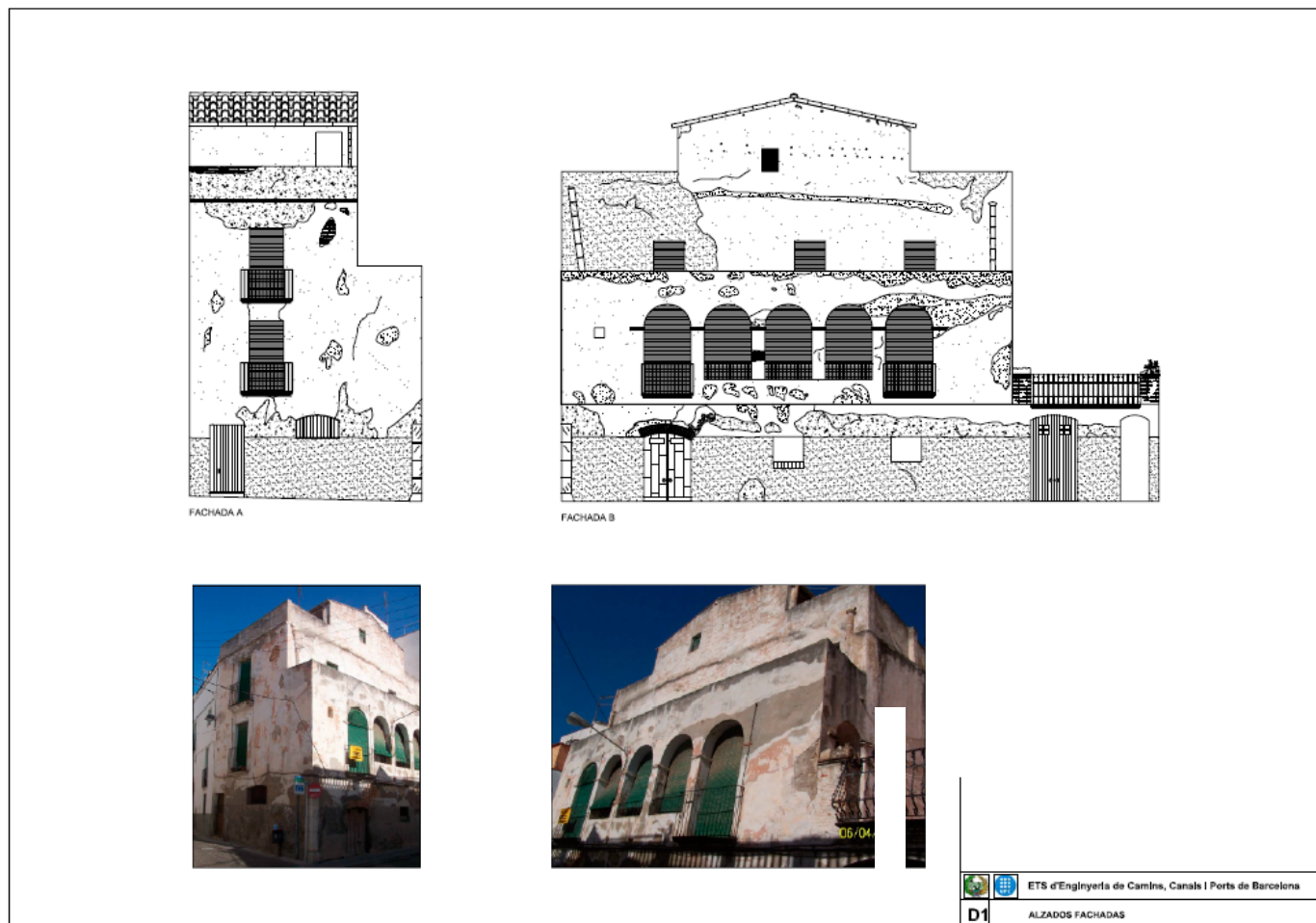


Figura IV.10. Caso real 4. Alzados fachadas



Figura IV.11. Caso real 4. Delimitación de zonas degradadas de la fachada A

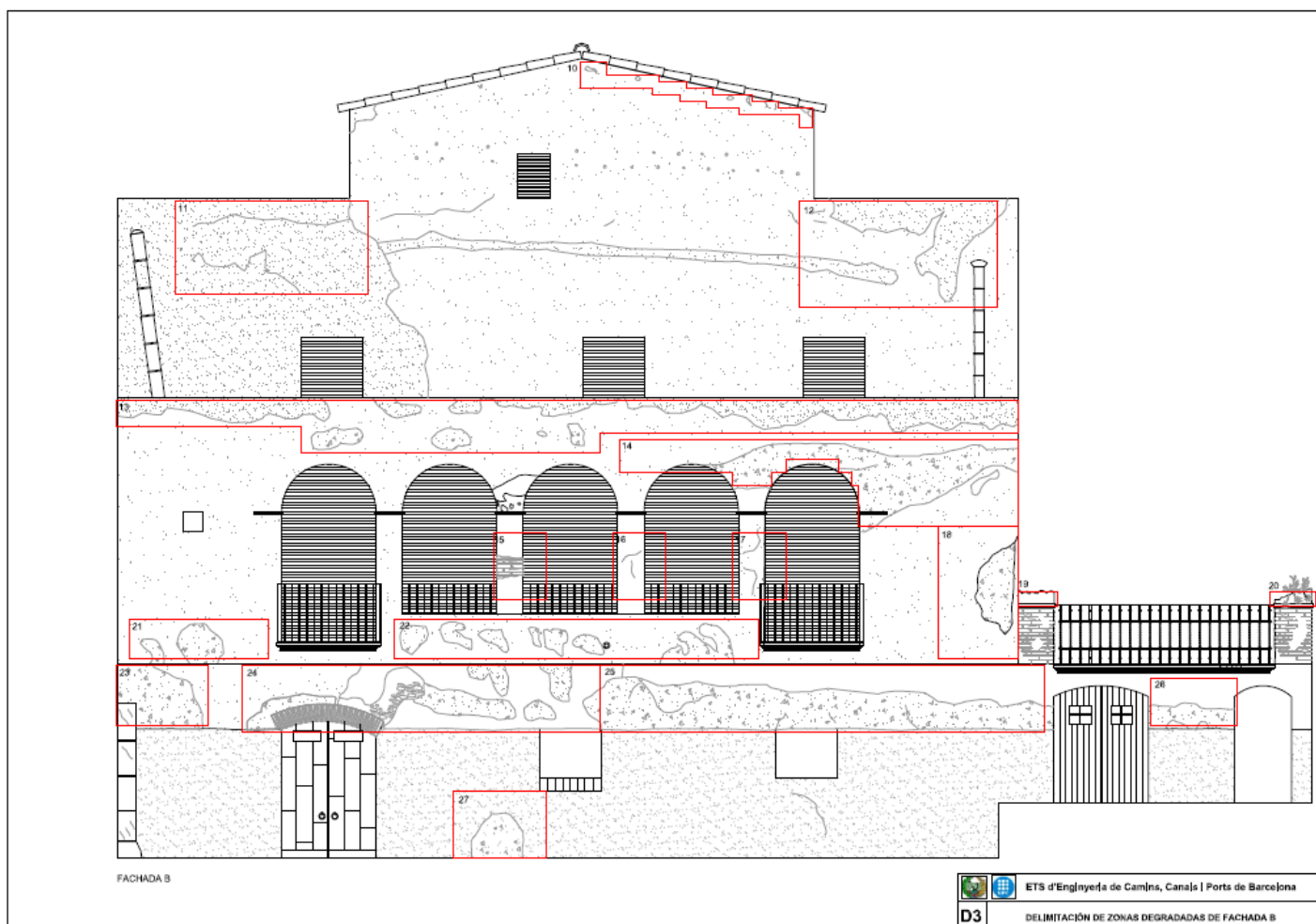


Figura IV.12. Caso real 4. Delimitación (1) de zonas degradadas de la fachada B



Figura IV.13. Caso real 4. Delimitación (2) de zonas degradadas de la fachada

ID	SUP.	MATER.	ESPEJOR	H_{cdg}	ls	SUP. CORREG.	DENS. MATER.	x_j	I_j
1	3,07	MCA	0,02	9,6	0,75	2,30	2100	3.951,36	0,90
2	3,04	MCA	0,02	8,4	1	3,04	2100	3.457,44	0,82
3	1,8	MCA	0,02	8,05	0,5	0,9	2100	3.313,38	0,78
4	3,38	MCCA	0,02	5,1	0,75	2,53	1900	1.899,24	0,38
5	0,7	MCCA	0,02	5,55	1	0,7	1900	2.066,82	0,43
6	0,17	HM	0,03	5,85	1	0,17	2300	3.955,77	0,90
7	8,99	MCCA	0,02	5,35	1	8,99	1900	1.992,34	0,41
8	0,16	HM	0,03	3,05	1	0,16	2300	2.062,41	0,43
9	6,05	MCA	0,02	2,50	1	6,05	2100	1.030,19	0,12
10	0,82	MCCA	0,02	11,53	1	0,82	1900	4.293,96	0,94
11	4,06	MCA	0,02	9,2	1	4,06	2100	3.786,72	0,88
12	4,8	MCA	0,02	9,1	1	4,8	2100	3.745,56	0,87
13	7,87	MCCA	0,02	6,59	1	7,87	1900	2.453,56	0,55
14	4,9	MCA	0,02	5,79	1	4,9	2100	2.383,25	0,53
15	0,8	MCCA	0,02	4,4	0,5	0,4	1900	1.638,56	0,29
16	0,8	MCCA	0,02	4,4	1	0,8	1900	1.638,56	0,29
17	0,8	MCCA	0,02	4,4	0,75	0,6	1900	1.638,56	0,29
18	2,4	MCCA	0,02	4	0,5	1,2	1900	1.489,60	0,25
19	0,12	PN	0,15	3,9	1	0,12	1700	9.746,10	1,00
20	0,14	PN	0,15	3,9	1	0,14	1700	9.746,10	1,00
21	1,26	MCCA	0,02	3,3	1	1,26	1900	1.228,92	0,17
22	3,3	MCCA	0,02	3,3	1	3,3	1900	1.228,92	0,17
23	1,26	MCA	0,02	2,45	1	1,26	2100	1.008,42	0,12
24	5,4	MCCA	0,02	2,4	0,75	4,05	1900	893,76	0,09
25	6,7	MCA	0,02	2,4	1	6,7	2100	987,84	0,11
26	0,91	MCA	0,02	2,35	1	0,91	2100	967,26	0,11
27	1,4	MCA	0,02	0,5	0,5	0,7	2100	205,80	0,00

Tabla IV.11. Cálculo de I_j para el caso real 4

ID	HUM	DES	G.DES	GRI	G.GRI	DES*GRI	y_j	P_j
1	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
2	0	1	0	1	0	1	3,09	0,92
3	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
4	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96
5	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
6	0	0	0	1	1	0	2,53	0,74
7	1	1	0	1	0	1	3,50	0,98
8	0	0	0	1	1	0	2,53	0,74
9	0	1	0	1	0	1	3,09	0,92
10	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96
11	1	0	0	1	0	0	2,28	0,63
12	1	0	0	1	0	0	2,28	0,63
13	1	1	0	1	0	1	3,50	0,98
14	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
15	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
16	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
17	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
18	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
19	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
20	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
21	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
22	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
23	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
24	0	1	0	1	0	1	3,09	0,92
25	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
26	0	1	0	1	0	1	3,09	0,92
27	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89

Tabla IV.12. Cálculo de P_j para el caso real 4

ID	I_j	P_j	G_j
1	0,90	0,42	4
2	0,82	0,92	7
3	0,78	0,89	7
4	0,38	0,96	4
5	0,43	0,42	2
6	0,90	0,74	7
7	0,41	0,98	4
8	0,43	0,74	3
9	0,12	0,92	1
10	0,94	0,96	9
11	0,88	0,63	6
12	0,87	0,63	5
13	0,55	0,98	5
14	0,53	0,42	2
15	0,29	0,98	3
16	0,29	0,42	1
17	0,29	0,89	3
18	0,25	0,89	2
19	1,00	0,89	9
20	1,00	0,89	9
21	0,17	0,42	1
22	0,17	0,42	1
23	0,12	0,89	1
24	0,09	0,92	1
25	0,11	0,42	0
26	0,11	0,92	1
27	0,00	0,89	0

Tabla IV.13. Cálculo de G_j para el caso real 4

IV.2.5. Edificio E (caso real 5)



Figura IV.14. Caso real 5. Alzados fachadas



Figura IV.15. Caso real 5. Delimitación de zonas degradadas de la fachada A



Figura IV.16. Caso real 5. Delimitación de zonas degradadas de la fachada B

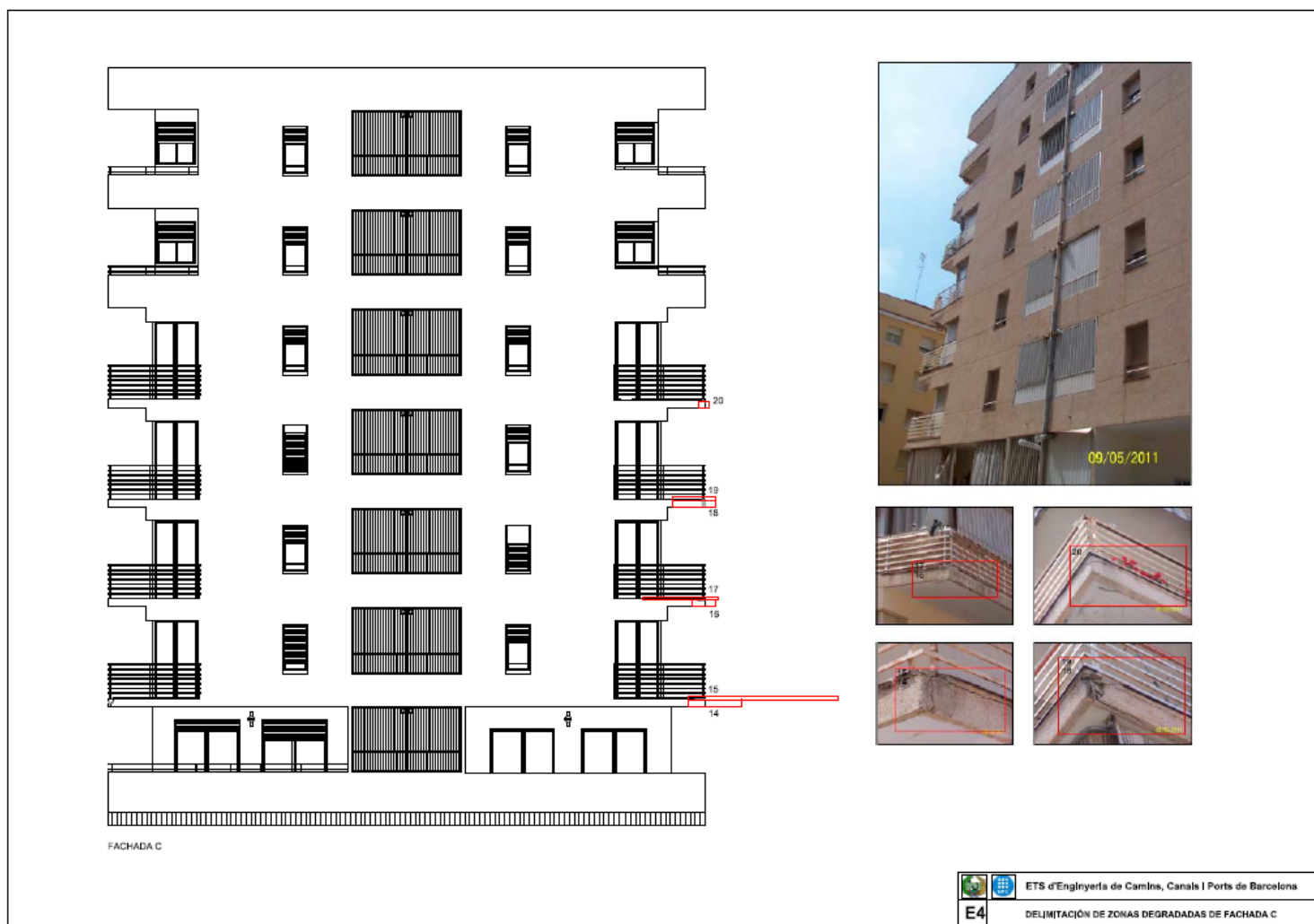


Figura IV.17. Caso real 5. Delimitación de zonas degradadas de la fachada C



Figura IV.18. Caso real 5. Delimitación de zonas degradadas de la fachada D



Figura IV.19. Caso real 5. Delimitación de zonas degradadas de las fachadas B y D

ID	SUP	MATER.	ESPEJOR	H_{cdg}	ls	SUP. CORREG.	DENS. MATER	x_j	I_j
1	0,24	HM	0,03	3,7	1	0,24	2300	2.501,94	0,57
2	0,17	MCA	0,01	3,85	0	0	2100	0,00	0,00
3	0,64	HM	0,03	6,7	1	0,64	2300	4.530,54	0,97
4	0,17	MCA	0,01	6,85	0,75	0,1275	2100	1.409,73	0,22
5	0,18	HM	0,03	9,7	1	0,18	2300	6.559,14	1,00
6	0,04	MCA	0,01	9,85	0	0	2100	0,00	0,00
7	0,84	HM	0,03	3,7	1	0,84	2300	2.501,94	0,57
8	0,26	HM	0,03	6,7	1	0,26	2300	4.530,54	0,97
9	0,09	MCA	0,01	6,85	0,5	0,045	2100	1.409,73	0,22
10	0,48	HM	0,03	3,7	1	0,48	2300	2.501,94	0,57
11	0,23	MCA	0,01	3,85	0	0	2100	0,00	0,00
12	0,18	HM	0,03	3,7	1	0,18	2300	2.501,94	0,57
13	0,15	MCA	0,01	3,85	0	0	2100	0,00	0,00
14	0,32	HM	0,03	3,7	1	0,32	2300	2.501,94	0,57
15	0,45	MCA	0,01	3,85	1	0,45	2100	792,33	0,07
16	0,14	HM	0,03	6,7	1	0,14	2300	4.530,54	0,97
17	0,23	MCA	0,01	6,85	0	0	2100	0,00	0,00
18	0,26	HM	0,03	9,7	0	0	2300	0,00	0,00
19	0,13	MCA	0,01	9,85	0,75	0,0975	2100	2.027,13	0,42
20	0,06	HM	0,03	12,7	1	0,06	2300	8.587,74	1,00
21	0,48	HM	0,03	3,7	1	0,48	2300	2.501,94	0,57
22	0,28	HM	0,03	9,6	1	0,28	2300	6.491,52	1,00
23	0,2	MCA	0,01	9,85	0,5	0,1	2100	2.027,13	0,42

Tabla IV.14. Cálculo de I_j para el caso real 5

ID	HUM	DES	G.DES	GRI	G.GRI	DES*GRI	y_j	P_j
1	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
2	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
3	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
4	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
5	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
6	0	0	0	0	0	0	0,27	0,00
7	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
8	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
9	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
10	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
11	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
12	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
13	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
14	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
15	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
16	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
17	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
18	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
19	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
20	0	0	0	1	1	0	2,53	0,74
21	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
22	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
23	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89

Tabla IV.15. Cálculo de P_j para el caso real 5

ID	I_j	P_j	G_j
1	2	0,24	2
2	0	0,17	0
3	9	0,64	9
4	2	0,17	2
5	4	0,18	4
6	0	0,04	0
7	6	0,84	6
8	9	0,26	9
9	2	0,09	2
10	6	0,48	6
11	0	0,23	0
12	6	0,18	6
13	0	0,15	0
14	6	0,32	6
15	1	0,45	1
16	4	0,14	4
17	0	0,23	0
18	0	0,26	0
19	4	0,13	4
20	7	0,06	7
21	2	0,48	2
22	10	0,28	10
23	4	0,20	4

Tabla IV.16. Cálculo de G_j para el caso real 5

IV.2.6. Edificio F (caso real 6)

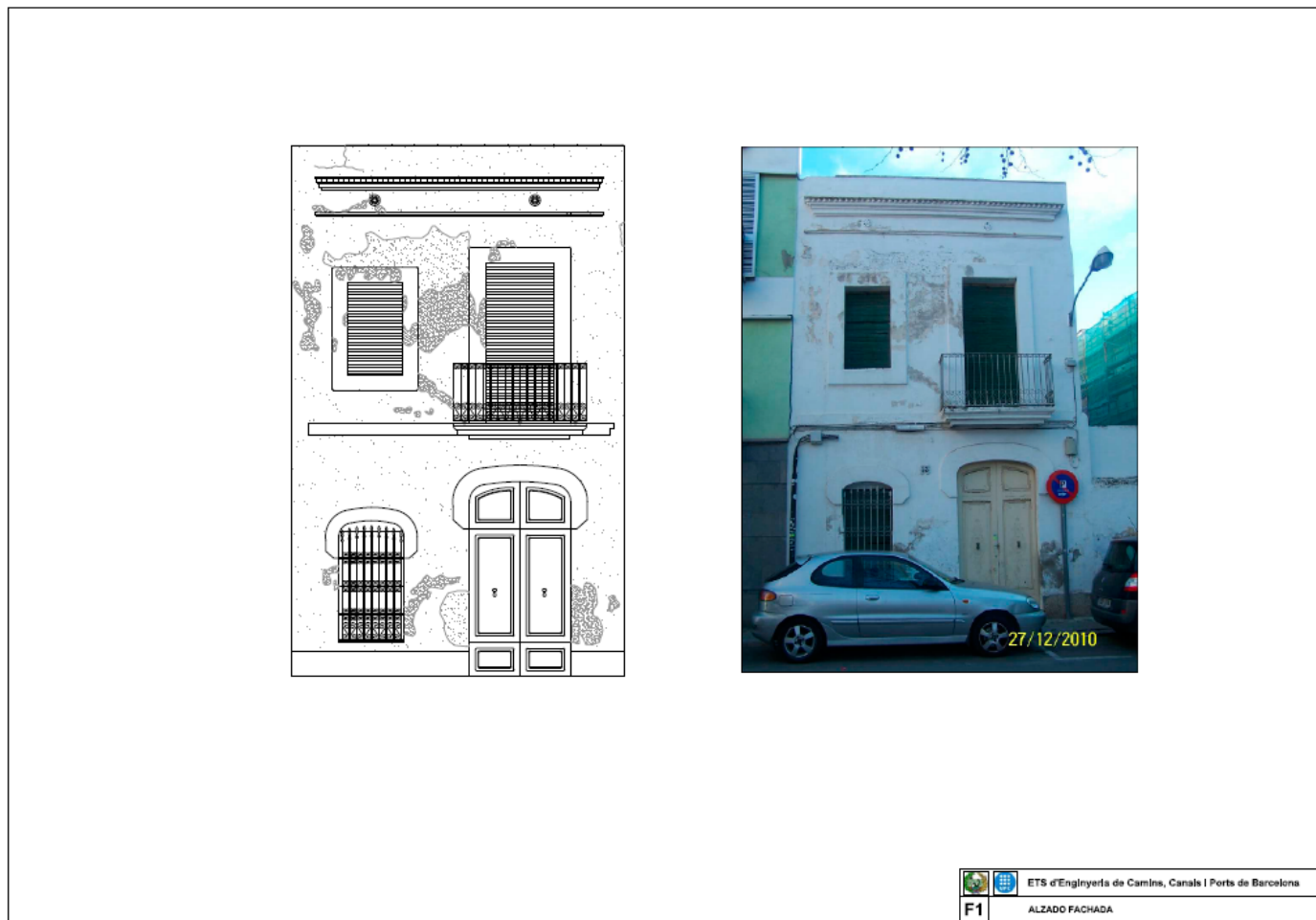


Figura IV.20. Caso real 6. Alzado fachada



Figura IV.21. Caso real 6. Delimitación de zonas degradadas

ID	SUP. MATER.	ESPESOR	H_{cdg}	ls	SUP. CORREG.	DENS. MATER.	x_j	I_j
1	FC	0,015	8,1	0,5	0,12	1800	2.143,26	0,47
2	MCCA	0,02	7,8	1	0,44	1900	2.904,72	0,68
3	PP	0,002	6,87	0,5	0,295	1500	201,98	0,00
4	MCCA	0,02	6,65	1	0,15	1900	2.476,46	0,56
5	PP	0,002	6,01	0,5	1,89	1500	176,69	0,00
6	PP	0,002	5,4	0,5	0,35	1500	158,76	0,00
7	PP	0,002	4,19	0,5	0,275	1500	123,19	0,00
8	MCCA	0,04	2,45	1	0,39	1900	1.824,76	0,35
9	PP	0,002	1,05	0,75	0,975	1500	30,87	0,00
10	PP	0,002	0,95	0,5	0,44	1500	27,93	0,00

Tabla IV.17. Cálculo de I_j para el caso real 6

ID	HUM	DES	G.DES	GRI	G.GRI	DES*GRI	y_j	P_j
1	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
2	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
3	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96
4	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
5	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96
6	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96
7	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96
8	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
9	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96
10	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96

Tabla IV.18. Cálculo de P_j para el caso real 6

ID	I_j	P_j	G_j
1	0,47	0,42	2
2	0,68	0,42	3
3	0,00	0,96	0
4	0,56	0,89	5
5	0,00	0,96	0
6	0,00	0,96	0
7	0,00	0,96	0
8	0,35	0,89	3
9	0,00	0,96	0
10	0,00	0,96	0

Tabla IV.19. Cálculo de G_j para el caso real 6

IV.2.7. Edificio G (caso real 7)



Figura IV.22. Caso real 7. Alzados fachadas

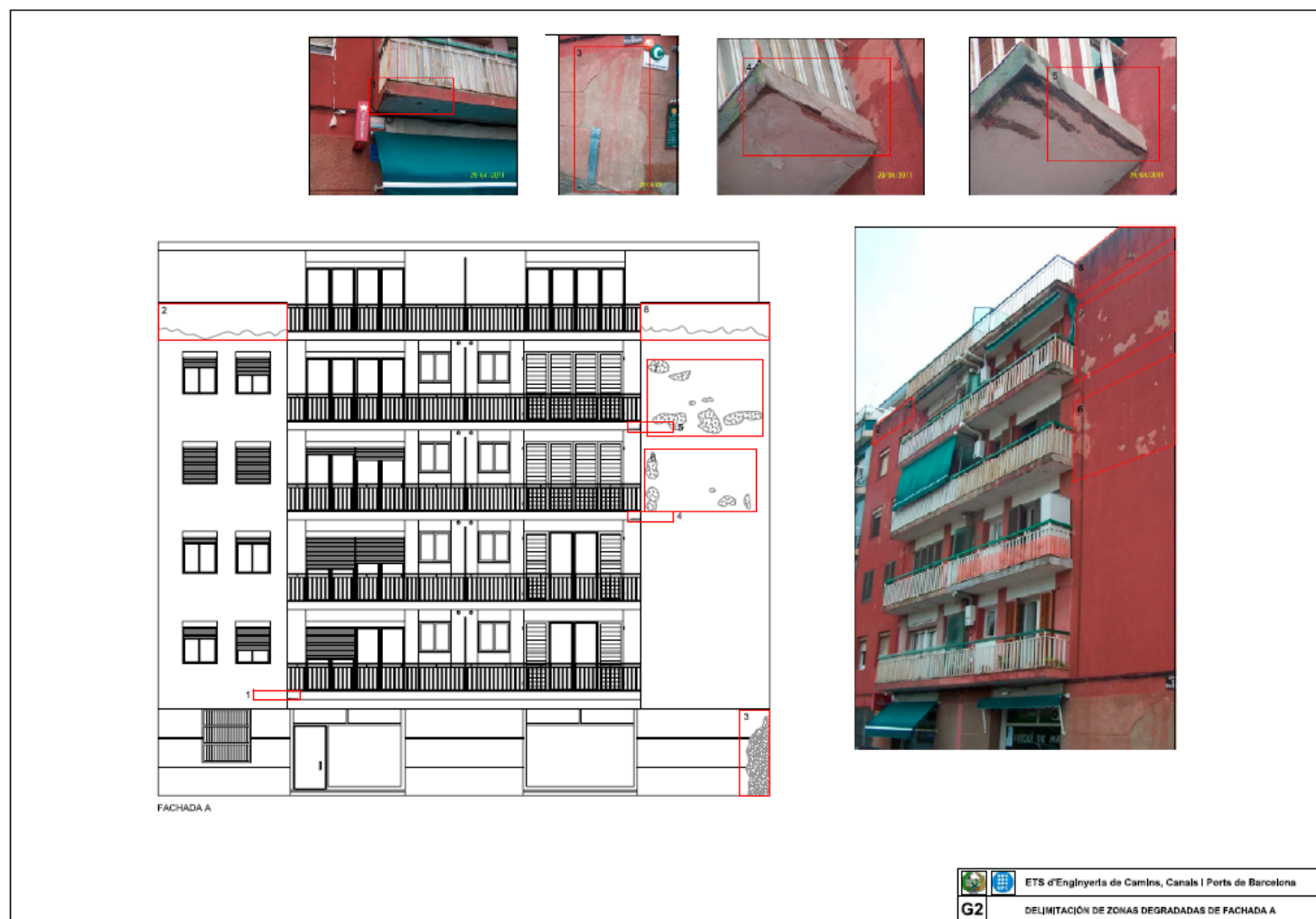


Figura IV.23. Caso real 7. Delimitación de zonas degradadas de la fachada A

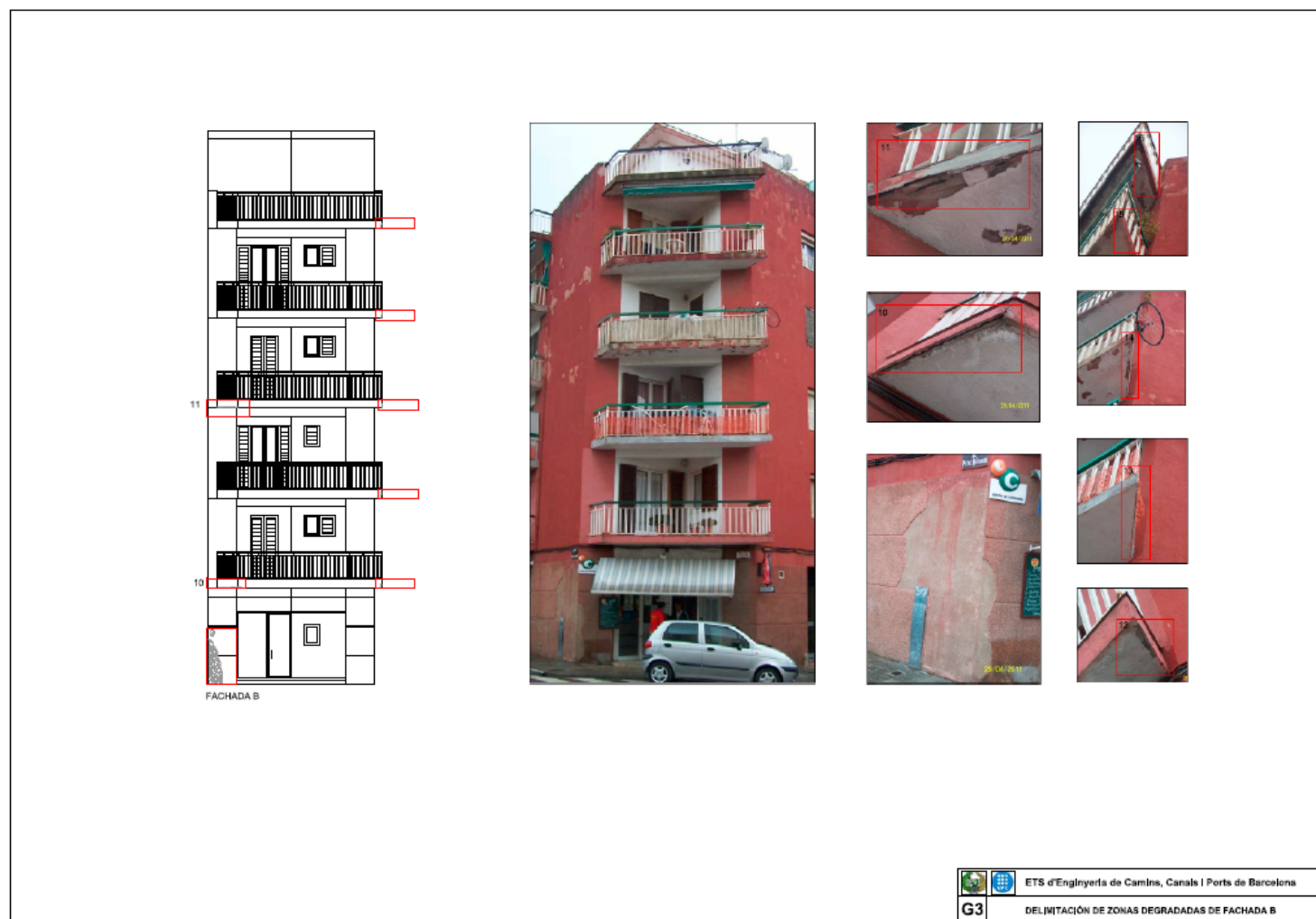


Figura IV.24. Caso real 7. Delimitación de zonas degradadas de la fachada B



Figura IV.25. Caso real 7. Delimitación de zonas degradadas de la fachada C

ID	SUP.	MATER.	ESPEJOR	H_{cdg}	ls	SUP. CORREG.	DENS. MATER.	x_j	I_j
1	0,42	HM	0,03	3,05	1	0,42	2300	2.062,41	0,43
2	4,29	MCA	0,02	14,34	1	4,29	2100	5.903,37	1,00
3	2,34	MCCA	0,02	1,3	0	0	1900	0,00	0,00
4	0,42	HM	0,03	8,45	1	0,42	2300	5.713,89	1,00
5	0,42	HM	0,03	11,15	1	0,42	2300	7.539,63	1,00
6	6,46	PP	0,002	9,55	0	0	1500	0,00	0,00
7	8,05	PP	0,002	12,05	0,75	6,0375	1500	354,27	0,01
8	4,29	MCA	0,02	14,35	1	4,29	2100	5.906,46	1,00
9	1,53	MCCA	0,02	0,85	0,5	0,765	1900	316,54	0,01
10	0,36	HM	0,03	3,05	1	0,36	2300	2.062,41	0,43
11	0,65	HM	0,03	8,35	0	0	2300	0,00	0,00
12	0,36	HM	0,03	3,05	1	0,36	2300	2.062,41	0,43
13	0,36	HM	0,03	5,75	1	0,36	2300	3.888,15	0,89
14	0,36	HM	0,03	8,45	1	0,36	2300	5.713,89	1,00
15	0,36	HM	0,03	11,15	1	0,36	2300	7.539,63	1,00
16	0,36	HM	0,03	13,95	1	0,36	2300	9.432,99	1,00
17	2,2	PP	0,002	8,5	1	2,2	1500	249,90	0,01
18	14	PP	0,002	12,2	1	14	1500	358,68	0,01
19	6,37	MCA	0,02	14,25	1	6,37	2100	5.865,30	1,00
20	0,39	HM	0,03	3,05	1	0,39	2300	2.062,41	0,43
21	0,39	HM	0,03	5,75	1	0,39	2300	3.888,15	0,89
22	0,36	HM	0,03	8,45	1	0,36	2300	5.713,89	1,00
23	0,36	HM	0,03	11,15	1	0,36	2300	7.539,63	1,00
24	0,36	HM	0,03	3,05	1	0,36	2300	2.062,41	0,43
25	0,36	HM	0,03	5,75	1	0,36	2300	3.888,15	0,89
26	0,36	HM	0,03	8,75	1	0,36	2300	5.916,75	1,00

Tabla IV.20. Cálculo de I_j para el caso real 7

ID	HUM	DES	G.DES	GRI	G.GRI	DES*GRI	y_j	P_j
1	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
2	1	0	0	0	0	0	0,68	0,03
3	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
4	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
5	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
6	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
7	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
8	1	0	0	0	0	0	0,68	0,03
9	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
10	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
11	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
12	0	0	0	1	0	0	1,87	0,42
13	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
14	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
15	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
16	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
17	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
18	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
19	1	1	0	0	0	0	3,36	0,96
20	0	1	1	1	0	0	5,13	1,00
21	0	1	0	0	0	0	2,95	0,89
22	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
23	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
24	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
25	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98
26	0	1	1	0	0	0	3,53	0,98

Tabla IV.21. Cálculo de P_j para el caso real 7

ID	I_j	P_j	G_j
1	0,43	0,98	4
2	1,00	0,03	0
3	0,00	0,89	0
4	1,00	0,98	10
5	1,00	0,98	10
6	0,00	0,89	0
7	0,01	0,89	0
8	1,00	0,03	0
9	0,01	0,89	0
10	0,43	0,98	4
11	0,00	0,98	0
12	0,43	0,42	2
13	0,89	0,98	9
14	1,00	0,98	10
15	1,00	0,89	9
16	1,00	0,98	10
17	0,01	0,89	0
18	0,01	0,89	0
19	1,00	0,96	10
20	0,43	1,00	4
21	0,89	0,89	8
22	1,00	0,98	10
23	1,00	0,98	10
24	0,43	0,98	4
25	0,89	0,98	9
26	1,00	0,98	10

Tabla IV.22. Cálculo de G_j para el caso real 7