

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería
Civil



**EFECTO DEL AMBIENTE MARINO EN
EDIFICIOS DE SEGUNDA RESIDENCIA EN LA
COSTA VALENCIANA. INFLUENCIA DEL
CRECIMIENTO URBANISTICO Y SISTEMAS
CONSTRUCTIVOS**

TESIS DOCTORAL

Autor:

José David Moreno Romero

Dirigida por:

Dr. José M. Adam Martínez

Dr. Mercedes Bonilla Salvador

Valencia, Febrero 2016

RESUMEN

La Comunidad Valenciana ha sido un referente en el turismo de mar y de playa desde hace muchos años. En este sentido, desde los años 60 han proliferado por todo el litoral los denominados comúnmente como “edificios de apartamentos”, que se describen como edificaciones de segunda residencia ubicadas en bloques de tipo plurifamiliar. Este turismo de tipo residencial, unido a los diferentes booms inmobiliarios experimentados en la costa valenciana ha conllevado que, en estos últimos cuarenta años, se haya producido un aumento considerable de edificaciones de este tipo.

La revisión de las normativas de hormigón armado desde los años 60 y el arraigo de la tradición constructiva pone de manifiesto que no se ha prestado suficiente atención al efecto del ambiente marino en la durabilidad de estos edificios, lo que ha favorecido la existencia de estructuras de hormigón con recubrimientos de las armaduras inapropiados.

El estudio de las características orográficas, climatológicas y tipología de crecimiento urbanístico, entre otras, ha permitido realizar el análisis de los 62 núcleos urbanos ubicados en la costa de la Comunidad Valenciana. En estos núcleos de población se localiza un extenso parque inmobiliario de edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar, que es el tipo de edificación en el que se centra esta Tesis Doctoral.

A partir de una revisión bibliográfica sobre los factores que originan los daños más comunes en los elementos estructurales sometidos a la acción del ambiente marino, se hace una propuesta para determinar su nivel de exposición a la atmósfera marina. Las variables más ampliamente estudiadas han sido: ubicación respecto a la línea de costa, edad del parque edificatorio (dividido por épocas de especial relevancia) y tipología de crecimiento urbanístico.

Se ha realizado un estudio en profundidad de las características constructivas que presentan los edificios de segunda residencia ubicados en los núcleos urbanos del litoral levantino. Dicho estudio se realiza desde 1968 hasta el año 2007, recurriendo para ello a muy diversas fuentes, como son: organismos oficiales, proyectos de ejecución redactados en diversas épocas, tradición constructiva, encuestas y entrevistas a profesionales con reconocida experiencia en la zona, inspección visual, etc.

A partir del procesado de toda la información, se realiza una catalogación de los núcleos urbanos de la costa valenciana a partir del “estado de salud” de los edificios, con el fin de

determinar, de forma más específica, la vulnerabilidad que presentan frente a los agentes agresivos.

El estudio en profundidad del nivel de exposición del parque inmobiliario se realiza sobre una selección de 15 localidades (núcleos urbanos) que son representativas de la casuística encontrada en las 62 localidades del litoral valenciano. A partir del estudio y ponderación de las variables de influencia se catalogan estas poblaciones a través de unos factores de vulnerabilidad.

Para comprobar el grado de fiabilidad de las hipótesis realizadas, se procede a su valoración a través de un “estudio del caso”. Se realiza un estudio en profundidad de la vulnerabilidad de un edificio concreto utilizando la metodología general y se contrasta con datos técnicos. El edificio muestra daños avanzados en diferentes elementos estructurales de donde se obtiene información sobre el tipo y nivel de daño. El estudio comprende: la inspección visual, ensayos in situ, ensayos de laboratorio y análisis microestructural.

De forma general, es posible confirmar que, en el diseño-construcción de los edificios de litoral valenciano, no se ha tenido en consideración la vulnerabilidad vinculada a la zona donde se ubica el inmueble, siguiendo más bien la tradición constructiva de la región valenciana donde no se contemplaba el tipo de exposición al ambiente marino. Esta situación ha tenido como consecuencia un nivel de daños importante en estos núcleos urbanos. Por otro lado, muchas de las actuaciones realizadas no han tenido en cuenta el agente causal más importante en este tipo de ambiente: el ion cloruro, centrándose en el efecto de la carbonatación del hormigón y reparaciones a base de limpiezas parciales de las armaduras. Es probablemente por este motivo que muchos edificios han tenido que verse sometidos a reiteradas intervenciones e incluso necesitar costosas intervenciones de tipo estructural. Este trabajo pretende aportar información sobre la vulnerabilidad y el proceso de ataque para adecuar, de esta forma, el tipo de intervención a realizar.

Palabras clave: Patología, Durabilidad, Edificación en litoral valenciano, Hormigón armado.

RESUM

La Comunitat Valenciana ha sigut un referent en el turisme de mar i de platja des de fa molts anys. En aquest sentit, des dels anys 60 han proliferat per tot el litoral valencià els denominats comunament com a *edificis d'apartaments*, que es descriuen com a edificacions de segona residència situades en blocs de tipus plurifamiliar. Aquest turisme de tipus residencial, unit als diferents booms immobiliaris experimentats a la costa valenciana, ha comportat que, en aquests darrers quaranta anys, s'haja produït un augment considerable d'edificacions d'aquest tipus.

La revisió de les normatives de formigó armat des dels anys 60 i l'arrelament de la tradició constructiva posa de manifest que no s'ha prestat prou atenció a l'efecte de l'ambient marí en la durabilitat d'aquests edificis, fet que ha afavorit l'existència d'estructures de formigó amb recobriments de les armadures inapropiats. L'estudi de les característiques orogràfiques, climatològiques i de tipologia de creixement urbanístic, entre d'altres, ha permès dur a terme l'anàlisi dels 62 nuclis urbans ubicats a la costa de la Comunitat Valenciana. En aquests nuclis de població es localitza un extens parc immobiliari d'edificis de segona residència en bloc plurifamiliar, que és el tipus d'edificació en què se centra aquesta tesi doctoral.

A partir d'una revisió bibliogràfica sobre els factors que originen els danys més comuns en els elements estructurals sotmesos a l'acció de l'ambient marí, es fa una proposta per determinar-ne el nivell d'exposició a l'atmosfera marina. Les variables més àmpliament estudiades han estat: ubicació respecte a la línia de costa, antiguitat del parc edificatori (dividit per èpoques d'especial rellevància) i tipologia de creixement urbanístic.

S'ha fet un estudi en profunditat de les característiques constructives que presenten els edificis de segona residència ubicats als nuclis urbans del litoral llevantí. Aquest estudi es du a terme des de 1968 fins a l'any 2007, i per a fer-lo s'ha recorregut a molt diverses fonts, com ara: organismes oficials, projectes d'execució redactats en diverses èpoques, tradició constructiva, enquestes i entrevistes a professionals amb reconeguda experiència a la zona, inspecció visual, etc.

A partir del processament de tota la informació, es fa una catalogació dels nuclis urbans de la costa valenciana a partir de l'*estat de salut* dels edificis, amb la finalitat de determinar, d'una manera més específica, el nivell de vulnerabilitat que presenten davant dels agents agressius.

L'estudi en profunditat del nivell d'exposició del parc immobiliari es realitza sobre una

selecció de 15 localitats (nuclis urbans) que són representatives de la casuística trobada en les 62 localitats del litoral valencià. A partir de l'estudi i la ponderació de les variables d'influència, es cataloguen aquestes poblacions amb un índex de vulnerabilitat.

Per comprovar el grau de fiabilitat de les hipòtesis, aquestes es valoren a través d'un *estudi del cas*. S'elabora un estudi en profunditat de la vulnerabilitat d'un edifici concret utilitzant la metodologia general i es contrasta amb dades tècniques. L'edifici presenta mostres de danys avançats en diversos elements estructurals, on s'obté informació sobre el tipus i el nivell de dany. L'estudi comprèn: la inspecció visual, assajos *in situ*, assajos de laboratori i anàlisi microestructural.

De manera general, és possible confirmar que, en el disseny-construcció dels edificis del litoral valencià, no s'ha tingut en consideració el grau de vulnerabilitat vinculat a la zona on s'ubica l'immoble, seguint més aviat la tradició constructiva de la regió valenciana on no es tenia en compte el tipus d'exposició a l'ambient marí. Aquesta situació ha tingut com a conseqüència un nivell de danys important en aquests nuclis urbans. D'altra banda, moltes de les actuacions no han tingut en compte l'agent causal més important en aquest tipus d'ambient, l'ió clorur, sinó que s'han centrat en l'efecte de la carbonatació del formigó i en reparacions a força de neteges parcials de les armadures. És probablement per aquest motiu que molts edificis s'han hagut de veure sotmesos a reiterades intervencions i, fins i tot, cada vegada és més freqüent la necessitat de costoses intervencions de tipus estructural. Aquest treball pretén aportar informació sobre el nivell de vulnerabilitat i el procés d'atac per adequar d'aquesta manera el tipus d'intervenció a realitzar.

Paraules claus: patologia, durabilitat, edificació, Comunitat Valenciana, formigó armat.

ABSTRACT

The Valencian Community has been a leader in sea and beach tourism for several years. In this regard, since the 60s, a kind of building has proliferated along the coastline, usually called “apartment buildings”, which is described as second residence building located in *plurifamiliar* blocks. This kind of residential tourism, along with the various Real Estate booms suffered in the Valencian coast, has meant that there has been a considerable increase in buildings of this type in the last forty years.

The review of reinforced concrete regulations from the sixties and the establishment of building tradition shows that not enough attention has been paid to the effect of the marine environment in the durability of these buildings, which has favored the existence of concrete structures with inappropriate reinforced coatings.

The study of the orographic and climatic features and the urban growth typology, among others, has enabled the analysis of 62 cities located on the Valencian Community coastline. In these cities an extensive housing stock of second homes buildings in *plurifamiliar* blocks proliferates, which is the kind of building that this Doctoral Thesis analyses.

From a bibliographic review on the factors that cause the most common damage to structural elements subjected to the action of the marine environment, a proposal is developed to determine their level of exposure to marine atmosphere. The most widely studied variables have been: location along the coastline, age of the building stock (divided by periods of special relevance) and type of urban growth.

It has been done a detailed study of the structural characteristics showed on the second-home buildings located in urban areas on the Mediterranean coast. This study ranges from 1968 to 2007, resorting to several sources, including: government agencies, implementation projects written in different periods, building tradition, surveys and interviews with professionals with experience in the area, visual inspection, etc.

From all the information processed, a catalog of the urban areas of the Valencian coast is made according to the "health" of the buildings, in order to determine, more specifically, the vulnerability they present against aggressive agents.

An in-depth study of the level of exposure of the housing stock is developed on a selection of 15 locations (urban areas) that are representative of casuistry found in 62 villages of the

Valencian coast. From the study and weighting of influence variables, these village are cataloged by means of some vulnerability factors.

To check the reliability of the hypothesis made, we proceed to test it through a "case study". Further in-depth study is made to know the vulnerability of a particular building using the general methodology and contrasting it with technical data. The building shows severe damage in different structural elements where information about the type and level of damage is obtained. The study includes a visual inspection, on-site tests, laboratory tests and microstructural analysis.

Generally, it is possible to confirm that in the design-construction of the buildings on the Valencian coast, there has not been taken into consideration the vulnerability linked to the area where the property is located, following instead the building tradition in the region of Valencia where the type of exposure to the marine environment was not contemplated. This situation has resulted in a significant level of damage in these urban areas. On the other hand, many of the actions taken have not considered the most important causal agent in this kind of environment: the chloride ion, focusing on the effect of carbonation of concrete and repairs based on partial cleaning of the rebar. It is probably for this reason that many buildings have had to be subjected to repeated interventions and even needed costly structural interventions. This dissertation aims to provide information on the vulnerability of this type of buildings and the attack process to adapt the kind of intervention to be performed to these buildings in the most appropriate way.

Keywords: Pathology, Durability, Building in Valencia coastline, reinforced concrete.

“Si no escalas la montaña, jamás podrás disfrutar del paisaje” (Pablo Neruda)

AGRADECIMIENTOS

Una vez escalada la montaña, es tiempo de mirar atrás y recordar con afecto el trabajo realizado. En la meta que una vez nos propusimos alcanzar y a la que se ha llegado superando numerosos obstáculos y dificultades, se aprecia con cariño todas aquellas muestras de afecto, aquellas palmadas en la espalda y aquellas ayudas dadas incondicionalmente por la gente. Por ello, quiero mostrar públicamente mi agradecimiento a aquellas personas que han hecho posible que esta aventura, como yo la he llamado, haya podido llegar a buen puerto.

Quiero comenzar por mis directores de Tesis, José M. Adam y Mercedes Bonilla, los cuales me han apoyado y han confiado en mí desde el primer momento. Sin ellos seguro que no habría sido posible este trabajo. También quiero destacar la labor realizada por Lourdes Soriano, Victoria Borrachero, Amparo Aliaga y, en general, por todo el grupo de GIQUIMA. Y como no, al Departamento de Ingeniería de la Construcción y al ICITECH, a los profesores, miembros y técnicos. A todos ellos mi más profundo agradecimiento.

Así mismo, dar las gracias a los diferentes profesionales que han accedido a reunirse conmigo y que han compartido sus conocimientos en materia de construcción y rehabilitación: Alejandro Andújar, Alejandro Edo, Balbino Magraner, Carlos Peralta, Francisco Tapia, Gabriel Ibor, Jorge Catalán, José María Sánchez, José Gabaldón, Juan Felipe Pons, Oscar Caballero, Rafael Iranzo y Salvador Giménez. Mención aparte, a la gente de la universidad: a Antonio Hospitaler y Bernardo Perepérez catedráticos de la UPV; Vicente Brotons, Pedro Garcés y Salvador Ivorra, de la Universidad de Alicante. A todos los técnicos de los ayuntamientos que han accedido a entrevistarse conmigo: Dulce Pascual, del ayuntamiento de Peñíscola, Vicente Bataller del ayuntamiento de El Puig, Enrique Reig, del ayuntamiento de la Poble de Farnals.

Mención especial a la Dirección de Arquitectura y Vivienda de la Consellería de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio y al Instituto Valenciano de la Edificación por la información facilitada para la realización de este trabajo. También a los Colegios Profesionales de Arquitectos de Castellón, Valencia y Alicante.

Mi más profundo agradecimiento a mis amigos y de forma muy especial a Bancho e Inma, Sandro, Oscar, Salva, Melquiades, Javi y Paco de Kaparazoom por ser tan pacientes conmigo y por sus constantes muestras de apoyo.

Finalmente, dar las gracias a mis padres y a mi familia por ese apoyo inquebrantable que me han dado. Sobre todo debo la Tesis Doctoral a Patricia, sin ti esta aventura no habría llegado a su destino. Gracias por toda la parte de tu vida que me has entregado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCION Y OBJETIVOS

1.1	Introducción	1.1
1.2	Relevancia de la temática estudiada	1.2
1.3	Objetivos	1.4
1.4	Contenido	1.5
1.5	Difusión de los resultados obtenidos	1.7

CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

2.1	Introducción	2.1
2.2	Concepto de Edificación de Segunda Residencia	2.1
2.2.1	Tipologías de edificios asociadas a la edificación de segunda residencia en bloque plurifamiliar	2.3
2.3	Una aproximación al urbanismo de la costa valenciana del siglo XX.	2.5
2.3.1	Evolución del crecimiento de las poblaciones de la costa valenciana a finales del siglo XX. Planes Urbanísticos	2.5
2.3.2	Consecuencias del crecimiento urbanístico	2.8
2.4	Las normativas del hormigón armado desde los años 60 y su relación con la durabilidad de las estructuras en ambiente marino	2.10
2.4.1	Concepto de durabilidad según la normativa actual	2.11
2.4.2	La durabilidad y el tipo de ambiente en las normas de hormigón españolas desde los años 60 hasta el año 2007	2.12
2.5	Las estructuras de hormigón armado en atmósfera marina	2.17

2.5.1	Concepto de salinidad y de zona de atmósfera marina	2.18
2.5.2	Mecanismos de ataque a las estructuras de hormigón armado por corrosión en la zona de atmósfera marina.	2.20
2.5.2.1	Corrosión del acero por cloruros	2.22
2.5.2.1.1	Difusión de cloruros en el hormigón	2.25
2.5.2.1.2	Contenido crítico de cloruros	2.26
2.5.2.1.3	Concentración de cloruros en la superficie del hormigón	2.26
2.5.2.2	Carbonatación del hormigón	2.28
2.5.2.3	Influencia de la carbonatación del hormigón en la corrosión por ion cloruro	2.31
2.5.3	Velocidad de corrosión de las armaduras en ambiente marino	2.31
2.5.4	Factores externos que influyen en la velocidad de corrosión de las armaduras en ambiente marino.	2.33
2.5.4.1.	Efecto de la distancia a la línea de costa, del régimen de vientos, de la orografía y los obstáculos presentes en el terreno	2.33
2.5.4.2.	Influencia de la temperatura, la humedad relativa y el ciclo de humectación-secado de las estructuras en la corrosión de las armaduras	2.36
2.5.5	Factores internos del hormigón que tienen repercusión en la corrosión de las armaduras	2.38
2.5.5.1	Resistividad del hormigón	2.38
2.5.5.2	Permeabilidad del hormigón	2.38
2.5.5.3	Relación agua/cemento	2.39
2.5.5.4	Recubrimiento de las armaduras	2.39
2.5.5.5	Cemento utilizado y contenido mínimo	2.40
2.5.5.6	Tipo de acero	2.43

2.5.5.7	Fisuración	2.43
2.5.6	Influencia del tipo de óxido sobre los efectos de la corrosión	2.45
2.5.7	Efectos de la corrosión sobre las estructuras	2.47
2.5.7.1	Efectos sobre el hormigón	2.47
2.5.7.2	Efectos sobre el acero	2.49
2.5.7.3	Efectos sobre el sistema hormigón-acero	2.49
2.6	Conclusiones relativas al <i>Capítulo 2</i>	2.51

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL LITORAL VALENCIANO

3.1	Introducción	3.1
3.2	Características de exposición de las poblaciones del litoral valenciano	3.2
3.2.1	Estudio del régimen de vientos	3.2
3.2.2	Características orográficas de la costa valenciana	3.3
3.2.3	Régimen de temperaturas, humedad relativa y precipitaciones	3.7
3.3	Ubicación de los edificios	3.10
3.3.1	Distancia al mar de las edificaciones de segunda residencia en la costa valenciana	3.10
3.3.2	Situación con respecto a la línea de costa	3.13
3.4	Edad de las edificaciones	3.15
3.5	Crecimiento urbanístico en la costa valenciana	3.17
3.5.1	Criterio de tipología de las poblaciones costeras	3.18
3.5.2	Criterio de crecimiento cronológico urbanístico	3.21
3.5.3	Criterio de morfología del crecimiento urbanístico	3.22

3.5.4	Clasificación del crecimiento urbanístico de los núcleos urbanos	3.22
3.6	Conclusiones relativas al estudio de las características del litoral valenciano	3.28

CAPITULO 4. CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS DE LA TIPOLOGÍA RESIDENCIAL DE SEGUNDA RESIDENCIA EN BLOQUE PLURIFAMILIAR

4.1	Introducción	4.1
4.2	Metodología seguida	4.1
4.2.1	Búsqueda de información	4.2
4.2.2	Entrevistas a profesionales de la construcción	4.3
4.2.3	Análisis de los proyectos de ejecución	4.5
4.3	Características constructivas generales de los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar	4.5
4.3.1	Sistemas estructurales. Estructura porticada de hormigón armado versus estructura de acero	4.6
4.3.2	Tipologías de estructura horizontal. Forjados, vigas y zunchos de borde	4.8
4.3.3	Características constructivas comunes en los edificios de segunda residencia	4.11
4.3.4	Evolución del tipo de cemento, el contenido mínimo y dosificación del hormigón	4.15
4.3.5	Recubrimiento de las armaduras	4.21
4.3.6	Resistencia característica del hormigón	4.23
4.3.7	Tipo de acero empleado en las armaduras	4.25
4.3.8	Control de calidad de las obras	4.26
4.4	Conclusiones relativas a las características constructivas	4.26

CAPITULO 5. MANIFESTACIONES PATOLOGICAS MAS COMUNES Y SUS EFECTOS SOBRE LAS ESTRUCTURAS

5.1	Introducción	5.1
5.2.	Metodología seguida para el análisis de las manifestaciones patológicas	5.1
5.2.1.	Primera etapa. Recogida de datos en organismos oficiales	5.2
5.2.2.	Segunda etapa. Trabajo de campo realizado	5.3
5.2.2.1	Comprobación in situ	5.3
5.2.3.	Tercera etapa. Experiencia de los agentes intervinientes en las obras de intervención estructural y estudio de proyectos	5.4
5.2.3.1	Revisión de intervenciones estructurales	5.4
5.2.3.1.1	Determinación del tamaño de la muestra de proyectos	5.4
5.2.3.2	Encuesta realizada a diferentes profesionales de la construcción	5.5
5.2.3.3	Entrevista con profesionales de la rehabilitación	5.7
5.3.	Datos del estudio de campo realizado	5.8
5.3.1.	Porcentaje de edificaciones con daños	5.8
5.3.2.	Ubicación de los daños	5.11
5.3.3.	Nivel de los daños	5.17
5.4.	Datos de los proyectos de intervención estudiados en las poblaciones analizadas	5.19
5.4.1.	Tipo de intervención estructural	5.19
5.4.2.	Localización de las intervenciones estructurales	5.21
5.4.3.	Niveles de daños	5.21
5.4.4.	Causas de las lesiones	5.22

5.5.	Datos de la encuesta realizada	5.24
5.5.1.	Tipos de intervenciones	5.24
5.5.2.	Ubicación de las intervenciones	5.25
5.5.3.	Causas de las lesiones	5.26
5.6.	Entrevistas realizadas	5.27
5.6.1.	Tipo de intervenciones	5.28
5.6.2.	Ubicación de las intervenciones	5.28
5.6.3.	Causas de las lesiones	5.28
5.7.	Datos de la inspección realizada por la Dirección General de Arquitectura	5.29
5.7.1.	Filtrado de datos	5.29
5.7.2.	Niveles de daños	5.30
5.7.3.	Causas de las lesiones detectadas	5.31
5.8.	Comparación de los datos obtenidos en el <i>Capítulo 5</i>	5.34
5.9.	Clasificación de las poblaciones a través del índice de daños	5.37
5.10.	Conclusiones relativas al <i>Capítulo 5</i>	5.40

CAPITULO 6. VULNERABILIDAD DE LAS POBLACIONES DEL LITORAL VALENCIANO AL AMBIENTE MARINO. FACTORES DE VULNERABILIDAD

6.1.	Introducción	6.1
6.2.	Poblaciones analizadas en la costa valenciana	6.2
6.3.	Criterios para determinar los factores de vulnerabilidad de las poblaciones	6.6
6.4.	Factor de vulnerabilidad de las poblaciones estudiadas en función de	

la exposición a los agentes atmosféricos	6.9
6.4.1. Viento dominante	6.9
6.4.2. Influencia de la climatología	6.11
6.5. Factor de vulnerabilidad en función de la ubicación de las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar	6.15
6.5.1. Distancia al mar de los edificios	6.15
6.5.2. Situación con respecto a la línea de costa	6.17
6.6. Factor de vulnerabilidad en función de las antigüedad de los edificios	6.20
6.7. Factor de vulnerabilidad en función del crecimiento urbanístico	6.23
6.8. Importancia de cada variable en la vulnerabilidad global y su influencia en el índice de daños	6.25
6.8.1. Criterio para la obtención de unos coeficientes de importancia de los factores de vulnerabilidad	6.26
6.8.2. Análisis de los resultados del ajuste realizado	6.27
6.9. Conclusiones relativas al <i>Capítulo 6</i>	6.29

CAPITULO 7. ESTUDIO DE UN CASO PARTICULAR EN EL LITORAL VALENCIANO

7.1. Introducción	7.1
7.2. Vulnerabilidad de la población de Cullera	7.2
7.2.1. Breve descripción de la población de Cullera, de su crecimiento urbanístico y de su orografía	7.2
7.2.2. Determinación del factor de vulnerabilidad frente a los agentes atmosféricos	7.6
7.2.3. Determinación del factor de vulnerabilidad por situación de las edificaciones de segunda residencia a la costa	7.8
7.2.4. Determinación del factor de vulnerabilidad por antigüedad del parque inmobiliario de segunda residencia en bloque	7.10

plurifamiliar	
7.2.5. Determinación del factor de vulnerabilidad por crecimiento urbanístico	7.11
7.2.6. Análisis de los resultados de los factores de vulnerabilidad de la localidad de Cullera	7.13
7.3 Análisis de un edificio afectado de corrosión severa en la localidad de Cullera	7.15
7.3.1. Descripción de la edificación y su estructura	7.16
7.3.2. Trabajo de campo realizado	7.17
7.3.3. Ensayos de laboratorio realizados	7.22
7.3.3.1. Determinación del volumen de poros y la densidad del hormigón	7.23
7.3.3.2. Determinación del contenido en cloruros	7.23
7.3.4. Ensayos microestructurales realizados	7.24
7.3.4.1. Análisis de las muestras de armadura por medio de microscopía óptica y electrónica y caracterización de los productos de corrosión	7.25
7.3.4.2. Análisis de las muestras de hormigón por medio de microscopía electrónica	7.28
7.3.4.3. Caracterización de óxidos de hierro	7.29
7.4 Conclusiones relativas al <i>Capítulo 7</i>	7.33

CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE NUEVAS INVESTIGACIONES

8.1. Conclusiones	8.1
Respecto a Antecedentes y Estado del Arte	8.1
Respecto a las características del litoral valenciano	8.1
Respecto a las características constructivas de la tipología	

residencial de segunda residencia en bloque plurifamiliar	8.2
Respecto a las manifestaciones patológicas más comunes y sus efectos sobre las estructuras	8.3
Respecto a la vulnerabilidad de las poblaciones al ambiente marino. Factores de vulnerabilidad	8.4
Respecto al estudio del caso particular en el litoral valenciano	8.6
8.2. Aportación original de la tesis doctoral	8.6
8.3. Propuesta de nuevas investigaciones	8.7

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXO A. NORMATIVA DEL HORMIGON ARMADO DESDE 1960 HASTA 2007

ANEXO B. TABLAS DE ENTREVISTAS, PROYECTOS DE EJECUCION ANALIZADOS EN EL *CAPITULO 4* Y PROYECTOS DE INTERVENCION ANALIZADOS EN EL *CAPITULO 5*

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Porcentajes de viviendas de primera y segunda residencia y vacías existentes en 2011

Fig. 1.2 Ubicación de las localidades estudiadas

Fig. 2.1. Tipologías de manzanas: a) Manzana cerrada b) Manzana abierta

Fig. 2.2. Tipologías de edificación: a) Entre medianeras b) Bloque lineal c) Bloque torre

Fig. 2.3. Incremento de la superficie construida en la C. Valenciana (*Corine Land Cover 2000*)

Fig. 2.4. Viviendas iniciadas por mil habitantes en 1996. Fuente: Ministerio de la Vivienda

Fig. 2.5 Viviendas iniciadas por mil habitantes entre 1997 y 2006. Fuente: Ministerio de la Vivienda

Fig. 2.6 Esquema de zonas de ambiente marino.

Fig. 2.7 Diagrama de difusión de O₂ (*Moreno 2008*)

Fig. 2.8. Penetración de los cloruros por difusión y por la red de poros (*Moreno 2008 y González 1984*)

Fig. 2.9. Esquema de ataque por cloruros (*Neville 1995*)

Fig. 2.10 Influencia del ambiente en la carbonatación, adaptada de *Moragues (2011)*

Fig. 2.11. Grafica de velocidad de reacción de carbonatación, adaptada del *BRE (1998)*

Fig. 2.12 Contenido crítico de cloruros dependiendo de la HR, adaptado del *CEB (1996)*

Fig. 2.13. Esquema del proceso de difusión de cloruros por depósito de partículas

Fig. 2.14. Reducción de la concentración de cloruros dependiendo de la distancia a la costa, adaptado de *Meira et al. (2002)*

Fig. 2.15 Esquema del efecto apantallamiento de los obstáculos

Fig. 2.16 Relación entre la salinidad y el régimen de viento, adaptada de *Morcillo et al.* (2000)

Fig. 2.17. Variación de la intensidad de corrosión con la temperatura adaptado de *Andrade et al.* (1998)

Fig. 2.18 Variación de la concentración de ion cloruro a través de la profundidad del recubrimiento, con respecto a hormigones con diferente relación A/C, adaptado de *Bader* (2003)

Fig. 2.19. Efecto de la calidad del recubrimiento estudiado a través de la relación A/C en la difusión del oxígeno, adaptado de *Molina et al.* (1995)

Fig. 2.20. $[Cl^-]$ en función de la profundidad y la anchura de fisura, adaptado de *Ismail et al.* (2008)

Fig. 2.21. Influencia del curado en la concentración de cloruros, adaptado de *Bader* (2003)

Fig. 2.22. Volumen de los diferentes óxidos de la corrosión, adaptado de *Jaffer et al.* (2009)

Fig. 2.23. Diferentes morfologías de cristales, adaptado de *Ma et al.* (2009) a) estructura floral de placas finas, b) estructura de bolas de algodón

Fig. 2.24. Diferentes morfologías de cristales, adaptado de *Ma et al.* (2009) a) estructura de nidos y b) estructura acicular

Fig. 2.25. Fisuración del recubrimiento (*Moreno 2008*)

Fig. 3.1. Ejemplos de planicies a) Tavernes de la Valldigna y b) Oliva. Fuente: www.googlemaps.com

Fig. 3.2. Ejemplos de serranía a) Sierra de Irta y b) Moraira. Fuente: www.comunitatvalenciana.com

Fig. 3.3. Ejemplo de marjal: Pego-Oliva. Fuente: www.common.wikipedia.org

Fig. 3.4. Ejemplo de localidad con núcleo poblacional no estacionario separado de costa, en este caso Xeraco. Fuente: www.googlemaps.com

Fig. 3.5. Ejemplo de localidad con núcleo poblacional no estacionario en costa, en este caso Cullera. Fuente: www.googlemaps.com

Fig. 3.6. a) Playa norte de Peñíscola y b) zona faro en Cullera. Fuente: web del Ayuntamiento de Peñíscola y Cullera

Fig. 3.7. a) Manzana cerrada en la localidad de Cullera y b) Manzana abierta en la localidad de Oropesa del Mar. Fuente: www.googlemaps.com

Fig. 3.8 a) Crecimiento lineal en la localidad de Benicàssim. Fuente: ayuntamiento de Benicàssim b) Crecimiento adaptado de la localidad de Oropesa del Mar. Fuente: foto propia

Fig. 3.9 Crecimiento macro-urbanización en Oropesa del Mar. Fuente: [web www.marinador.com](http://web.wwww.marinador.com)

Fig. 4.1. Porcentaje de uso de estructuras de hormigón armado y de acero estructural en edificación residencial desde 1999 hasta 2005, adaptada de los datos extraídos del anuario de la Asociación Para la Promoción Técnica del Acero (*APTA 2008*)

Fig. 4.2. Ejemplos de vigas de cuelgue en terrazas en las localidades de a) Xeraco y b) Tavernes de la Valldigna

Fig. 4.3. Detalle constructivo de edificio Ed_01-01 resuelto con viguetas metálicas

Fig. 4.4. Edificio con forjados a base de viguetas metálicas en la población de Oropesa del Mar

Fig. 4.5. Porcentaje de edificios construidos con viguetas prefabricadas, por provincias, según datos de la inspección realizada por la Dirección General de Arquitectura

Fig.4.6. Edificación característica de segunda residencia en bloque plurifamiliar en la localidad de Xeraco

Fig. 4.7. Detalle constructivo de frente de forjado embebido en fachada (*Monjó-Carrió 2005*)

Fig. 4.8. Fachadas de edificios de segunda residencia a) Terminación de la fachada en monocapa, en un edificio ubicado en la población de Xeraco y b) Edificio con estructura en fachada en la localidad de Benicàssim

Fig. 4.9. Detalle de frente de terraza donde con ausencia goterón en la localidad de Oropesa del Mar

Fig. 4.10. Edificio aterrazado en la localidad de Oropesa del Mar

Fig. 4.11. Proyectos analizados con respecto al contenido en cemento por metro cúbico

Fig. 4.12. Porcentaje de tipos de cemento usados en el período 1994-2007, adaptado del Anuario del 2013 de la Agrupación de Fabricantes de Cemento en España (*Oficemen 2013*)

Fig. 4.13. Porcentajes de resistencia del cemento 1994-2007, adaptado del Anuario del 2013 de la Agrupación de Fabricantes de Cemento en España (*Oficemen 2004*)

Fig. 4.14. Evolución del contenido de cemento y de clinker a través de los años y las normativas de hormigón (EH) y de recepción de cementos (RC), adaptada de *Cobo (2001)*

Fig. 4.15. Recubrimientos de las estructuras a lo largo de las primeras épocas en los proyectos estudiados

Fig. 4.16. Falta de recubrimiento de una armadura en una viga en un edificio de la localidad de Benicàssim

Fig. 5.1. Gráfico esquemático de la metodología propuesta

Fig. 5.2. Proyectos de reparación estudiados por poblaciones

Fig. 5.3. Número de los profesionales entrevistados por cada población en donde principalmente han desarrollado su trabajo

Fig. 5.4. Porcentaje de edificios con patologías estructurales en las poblaciones seleccionadas

Fig. 5.5. Diferentes concepciones de frente de forjado a) frente de terrazas en la localidad de Xeraco y b) viga en línea de fachada y terraza ubicada en la localidad de Benicàssim

Fig. 5.6. Ubicación de los daños en los edificios, en cada una de las poblaciones seleccionadas

Fig. 5.7. Lesiones en los frentes de forjado en terrazas: a) desprendimientos y b) grietas

Fig. 5.8. Ubicación de las lesiones en frentes de forjados: A desprendimientos y B grietas

Fig. 5.9. Lesiones en vigas de cuelgue a) en la localidad de Oropesa del Mar y b) en la población de Xeraco

Fig. 5.10. Ubicación de las lesiones en vigas: A desprendimientos y B grietas

Fig. 5.11. Daños en pilares de planta baja a) en la localidad de Xeraco y b) en la localidad de Benicàssim

Fig. 5.12. Daños en la parte inferior de pilares a) desprendimiento del recubrimiento en la población de Xeraco b) intervención estructural realizada en Tavernes de la Valldigna por desprendimiento del recubrimiento

Fig. 5.13. Humedades en la parte inferior del forjado en terrazas a) en la localidad de Xeraco y b) en la localidad de Peñíscola

Fig. 5.14. Lesiones en estructuras a) en estructura secundaria en la población de Xeraco y b) refuerzo de voladizo en Playa de San Juan

- Fig. 5.15. Clasificación porcentual de niveles de daños en edificios de segunda residencia para todas las poblaciones estudiadas
- Fig. 5.16. Porcentaje de niveles de daños en estructuras de edificios de segunda residencia en los diferentes núcleos urbanos analizados
- Fig. 5.17. Porcentaje de tipos de intervención con respecto al total de los proyectos analizados
- Fig. 5.18. Porcentaje de edificaciones con intervenciones estructurales anteriores
- Fig. 5.19. Localización de las intervenciones realizadas en los edificios estudiados
- Fig. 5.20. Porcentajes con respecto al total de proyectos de intervención analizados según los niveles de daños estructurales indicados en ellos
- Fig. 5.21. Porcentaje de las causas de las lesiones descritas en los proyectos de intervención analizados
- Fig. 5.22. Porcentaje del tipo de ensayos realizados en los proyectos revisados
- Fig. 5.23. Tipo de intervención según la encuesta realizada a los profesionales
- Fig. 5.24. Ubicación de las actuaciones según la encuesta realizada
- Fig. 5.25. Causas de las lesiones, según la encuesta realizada
- Fig. 5.26. Porcentajes de edificios con los diferentes niveles de daño según las inspecciones realizadas por la Dirección General de Arquitectura
- Fig. 5.27. Porcentaje de tipos de corrosión detectados con respecto al total de ensayos de corrosión en las inspecciones realizadas por la Dirección General de Arquitectura
- Fig. 5.28. Importancia de la carbonatación en los ensayos realizados en las inspecciones de la Dirección General de Arquitectura
- Fig. 5.29. Resumen de los datos con respecto a la ubicación de los daños
- Fig. 5.30. Resultados del trabajo realizado con respecto a la importancia de los daños estructurales
- Fig. 5.31. Resultados del porcentaje de edificios en donde la causa de las lesiones es debida a la corrosión
- Fig. 5.32. Resumen de los porcentajes de edificios en cuanto a la causa que producen las lesiones
- Fig. 5.33. Clasificación de las poblaciones atendiendo a su índice de daños

Fig. 6.1. Poblaciones analizadas

Fig. 6.2. Factor de vulnerabilidad de los núcleos urbanos con respecto al régimen de vientos dominantes

Fig. 6.3. Régimen de temperaturas en los núcleos urbanos estudiados en el período 1981-2015, adaptado de los datos extraídos del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias

Fig. 6.4. Régimen de precipitaciones por meses de los núcleos urbanos estudiados durante el período 1981-2015

Fig. 6.5 Comparativa entre diferentes regímenes mensuales de precipitaciones

Fig. 6.6 Factor de vulnerabilidad de los núcleos urbanos con respecto a la pluviometría en el período 1981-2015

Fig. 6.7. Gráfico comparativo con el porcentaje de edificaciones en las diferentes franjas de distancia a la costa

Fig. 6.8. Gráfico comparativo con porcentajes de edificaciones en los diferentes períodos estudiados

Fig. 6.9. Porcentajes de edificaciones de segunda residencia dentro de los diferentes períodos estudiados

Fig. 7.1. Vista del desarrollo soportado por la población de Cullera en el primer período estudiado. Fuente: www.todocoleccion.net

Fig. 7.2. Vista con la ubicación de *El Racò*. Fuente: web ayuntamiento de Cullera

Fig. 7.3. Determinación del casco antiguo y crecimiento urbanístico de las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar en la localidad de Cullera

Fig. 7.4. Orografía de Cullera. Fuente: www.googlemaps.com

Fig. 7.5. Rosa de los vientos del municipio de Cullera extraído de la Agencia Estatal de Meteorología (*AEMET 2015*)

Fig. 7.6. Rango anual de precipitaciones en el período comprendido entre 1981 y 2015 en la población de Cullera extraído de los datos históricos de la Agencia Estatal de Meteorología (*AEMET 2015*)

Fig. 7.7. Subzonas del ensanche de Cullera, a) zona de manzana cerrada y b) zona de manzana abierta

Fig. 7.8. Imagen de la fachada en la zona del edificio donde se realiza el trabajo

- Fig. 7.9. Croquis de la planta del edificio objeto del trabajo
- Fig. 7.10. Croquis de los alzados laterales y la sección del edificio
- Fig. 7.11. Fotos de pilar: a) Desprendimiento del recubrimiento en pilar y b) pérdida de sección en armadura de pilar
- Fig. 7.12 Fotos de pilar a) pérdida de sección en estribo y b) pérdida de sección en armadura longitudinal
- Fig. 7.13. Desprendimiento del recubrimiento en viga
- Fig. 7.14.a) Desprendimiento de recubrimiento en vigueta y b) disgregación completa del alambre en vigueta
- Fig. 7.15. Croquis con la ubicación de las pruebas realizadas en el edificio objeto del estudio experimental
- Fig. 7.16. Resistividad del hormigón en las pruebas realizadas
- Fig. 7.17. Porcentaje del contenido en iones cloruro totales con respecto al peso del hormigón
- Fig. 7.18 Picaduras observadas mediante microscopía óptica: a) Armadura de vigueta con corrosión por picaduras, b) sección de armadura de pilar con corrosión por picadura, c) detalle de una picadura con incrustación de partícula salina
- Fig. 7.19. Armadura de la vigueta mostrando corrosión por picaduras, observado mediante SEM de 20 aumentos
- Fig. 7.20. Aumento mediante SEM a 100x de la picadura de la Fig. 7.14: a) Deposición superficial de sales en la picadura, b) deposición de sales en el interior de una picadura
- Fig. 7.21. Análisis microestructural de una capa de óxido. a) Distinta morfología de los óxidos e identificación de zonas, b) mapping presencia de hierro; c) mapping presencia de oxígeno; d) mapping presencia de cloro
- Fig. 7.22. Diferentes morfologías de sales a) cristales de NaCl y b) cristales de NaCl unidos a carbonatos
- Fig. 7.23. Diferentes morfologías de cristales a) cristales de carbonato cálcico y b) cristales de sulfato cálcico
- Fig. 7.24. Formaciones cristalinas. a) Formaciones cristalinas diversas, b) cristales de carbonato cálcico y c) formaciones de óxido de hierro disuelto en el hormigón próximo a la interfase hormigón-armadura

Fig. 7.25. Diferente morfología de los óxidos dentro de una picadura a) EDX 500 aumentos b) EDX 1000 aumentos

Fig. 7.26. Detalles de fisura por diferente poder expansivo de óxidos (EDX 500 aumentos)

Fig.7.27. Naturaleza de los óxidos en picadura de armadura de pilar (6000 aumentos). a) Formaciones cristalinas encontradas en zonas con mayor concentración de ion cloruro; b) formaciones en zonas con menor concentración de ion cloruro

Fig. 7.28. Morfología de los óxidos en armadura de pilar y vigueta (4000 aumentos)

Fig. 7. 29. Naturaleza de los óxidos en armadura de vigueta (2000 aumentos)

Fig.7.30. Formaciones de óxidos en armadura (3000 aumentos)

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Aspectos que marcaron la evolución del crecimiento urbanístico en la costa valenciana

Tabla 2.2. Instrucciones para el hormigón estructural desde los años 60

Tabla 2.3. Recubrimientos mínimos (en mm), según las condiciones ambientales de la estructura adaptada de la norma EH-88 (*Art. 13.3*)

Tabla 2.4. Recubrimientos mínimos (en mm), según las condiciones ambientales de la estructura adaptada de la normativa EH-91 (*Art. 13.3*)

Tabla 2.5. Parámetros de dosificación dependiendo de la clase de exposición, adaptada de la EHE-98 (*Tabla 37.3.2.a*)

Tabla 2.6. Composición de solutos sólidos del agua de mar, cada uno expresado como porcentaje del total. Fuente: *waterencyclopedia.com (2015)*

Tabla 2.7. Contenido crítico de cloruros según diferentes normativas, adaptada de *Alaejos et al. (2008)*

Tabla 2.8. Tabla con el contenido de cloruros en la superficie del hormigón, adaptado de la EHE-08 (*tabla A.9.4.*)

Tabla 3.1. Régimen de vientos de los núcleos urbanos de la costa valenciana

Tabla 3.2. Orografía de los núcleos urbanos de la costa valenciana

Tabla 3.3. Situación de la edificación de 2ª residencia con respecto a la línea de costa

Tabla 3.4. Situación de los edificios de 2ª residencia con respecto a la línea de playa

Tabla 3.5. Períodos de construcción predominante en las diferentes poblaciones de la costa valenciana

Tabla 3.6. Ubicación núcleo poblacional no estacionario

Tabla 3.7. Clasificación en función de la tipología de crecimiento urbanístico

Tabla 4.1. Contenido del cuestionario realizado a los profesionales de la construcción

Tabla 4.2. Dosificación del hormigón para un cemento P-350 y árido rodado, adaptada de la HA-68

Tabla 4.3. Dosificación del hormigón para un cemento P-350 y árido machacado, adaptada de la HA-68

Tabla 4.4. Dosificación del hormigón para un cemento P 350 y árido machacado, adaptada de la EH-73

Tabla 4.5. Resistencia característica a compresión del hormigón de los proyectos analizados del primer, segundo y tercer período, así como la instrucción del hormigón correspondiente

Tabla 5.1. Calificación de los niveles de daño (*IVE 2008*)

Tabla 5.2. Encuesta realizada a diferentes profesionales de la construcción

Tabla 5.3. Total de edificios que presentan daños y su porcentaje sobre el total en las poblaciones seleccionadas

Tabla 5.4. Porcentaje de daños en diferentes ubicaciones y porcentaje de edificios dañados para cada población

Tabla 5.5. Clasificación de los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar presentes en las poblaciones, según el nivel de los daños observados

Tabla 5.6. Informes obtenidos después del filtrado de las inspecciones de la Dirección General de Arquitectura y Vivienda

Tabla 5.7. Total de ensayos de presencia de ion cloruro realizados en los edificios inspeccionados, y el porcentaje de éstos dependiendo de la presencia alta de ion cloruro

Tabla 5.8. Resultados del contenido en cloruros con respecto del total de inspecciones realizadas (*sobre datos IVE 2008*)

Tabla 5.9. Porcentaje de edificios, por poblaciones, dentro de cada nivel de daños con respecto al total de edificios

Tabla 5.10. Escalas de importancia de los niveles de daños en los edificios

Tabla 5.11. Índices para cada nivel de daños e índice de daños para cada población

Tabla 6.1. Predominio del tipo de edificación en los núcleos urbanos costeros

Tabla 6.2. Características principales de los núcleos urbanos escogidos

Tabla 6.3. Escalas de importancia de un valor con respecto a la exposición a ambiente marino

Tabla 6.4. Aplicación de la ponderación sobre las variables estudiadas a partir de los pesos dados a los valores

Tabla 6.5. Vientos dominantes provenientes del mar y velocidad del viento para esa dirección en las poblaciones analizadas

Tabla 6.6. Número de edificaciones de segunda residencia según la distancia a la costa

Tabla 6.7. Vulnerabilidad por distancia a la Costa de las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar en los núcleos urbanos estudiados

Tabla 6.8. Número de edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar y porcentajes con respecto a la situación a la línea costera

Tabla 6.9. Vulnerabilidad por situación de las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar con respecto a la línea costera

Tabla 6.10. Número de edificaciones en cada uno de los períodos analizados

Tabla 6.11. Vida útil nominal dependiendo del tipo de estructuras, adaptado de la EHE-08

Tabla 6.12. Vulnerabilidad en función de la antigüedad de las edificaciones de segunda residencia

Tabla 6.13. Número de edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar en función del tipo de crecimiento urbanístico

Tabla 6.14. Vulnerabilidad por crecimiento urbanístico de las poblaciones seleccionadas

Tabla 6.15. Coeficientes de importancia de los factores de vulnerabilidad en el índice de daños.

Tabla 6.16. Peso de los coeficientes de importancia en el índice de daños.

Tabla 7.1. Vulnerabilidad de Cullera respecto a la exposición a los agentes atmosféricos

Tabla 7.2. Distribución de los edificios de segunda residencia en Cullera con respecto a la costa

Tabla 7.3. Distribución de los edificios de segunda residencia y factor de vulnerabilidad con respecto a la distancia a la costa

Tabla 7.4. Situación con respecto a la costa del total del parque inmobiliario de segunda residencia en Cullera

Tabla 7.5. Vulnerabilidad por ubicación de los edificios de segunda residencia en Cullera, por zonas y global

Tabla 7.6. Distribución de las edificaciones de segunda residencia por períodos de construcción en Cullera

Tabla 7.7. Porcentaje de edificaciones distribuidas por períodos de construcción y vulnerabilidad por antigüedad

Tabla 7.8. Distribución de las edificaciones por clase de crecimiento urbanístico

Tabla 7.9. Porcentajes de edificaciones y vulnerabilidad por clase de crecimiento urbanístico

Tabla 7.10. Profundidad de carbonatación de las medidas realizadas in situ en las diferentes muestras

Tabla 7.11. Valores de volumen de poros, densidad y absorción de muestras de hormigón

Tabla 7.12. Composición en % atómico de los elementos analizados, por zona

Tabla 7.13. Análisis mediante EDXA de las deposiciones de sales en la picadura de la Fig. 7.20.a (ver flecha)

Tabla A.1. Dosificación del hormigón para tipo de cemento P-350 y árido rodado, adaptada de la HA-68

Tabla A.2. Dosificación del hormigón para tipo de cemento P-350 y árido machacado, adaptada de la HA-68

Tabla A.3. Recubrimientos mínimos (en mm), según las condiciones ambientales de la estructura adaptada de la norma EH-88 (*Art. 13.3*)

Tabla A.4. Relación máxima agua/cemento y el contenido mínimo en cemento según las condiciones ambientales de la estructura adaptada de la norma EH-88 (*Art. 24.4*)

Tabla A.5. Recubrimientos mínimos (en mm), según las condiciones ambientales de la

estructura adaptada de la normativa EH-91 (*Art. 13.3*)

Tabla A.6. Parámetros de dosificación dependiendo de la clase de exposición, adaptada de la EHE-98 (Tabla 37.3.2.a)

Tabla B.1. Tabla de entrevistas realizadas

Tabla B.2. Tabla de proyectos de ejecución estudiados. Datos generales

Tabla B.3. Tabla de proyectos de ejecución estudiados. Datos constructivos

Tabla B.4. Tabla de proyectos de intervención estructural estudiados. Datos generales

Tabla B.5. Tabla de proyectos de intervención estructural estudiados. Datos constructivos

Tabla B.6. Tabla de proyectos de intervención estructural estudiados. Datos de daños

Tabla B.7. Tabla de proyectos de intervención estructural estudiados. Datos de la intervención realizada

CAPITULO 1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

Los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar son una de las estampas más características del litoral valenciano. Los denominados comúnmente “edificios de apartamentos” se pueden considerar una parte muy importante de la tradición edificatoria valenciana de los últimos cuarenta años.

La Comunidad Valenciana ha experimentado una metamorfosis, que ha acabado por reorganizarla y transformarla funcionalmente, sobre todo en su eje litoral, que tiene un marcado perfil turístico (*Obiol et al. 2011*). Desde los años 60, la costa valenciana ha sido un referente en el turismo de mar y de playa en España, experimentando un auge importante en el turismo de tipo residencial. Este aumento, junto con los diferentes booms de la construcción experimentados en la costa mediterránea, ha llevado a que, en estos últimos cuarenta años, se haya producido un crecimiento considerable en la construcción de edificios de segunda residencia. A menudo, el porcentaje de este tipo de edificios en las poblaciones de la costa valenciana supera en número a los dedicados a residencia habitual.

Esta tipología de edificios tiene una relación directa con el mar: disponen de formas constructivas que pretenden aprovechar las vistas, grandes terrazas, azoteas transitables y con áticos, alturas importantes y plantas bajas con poca tabiquería y sin aislamiento del suelo. Por ello, presentan una importante exposición al ambiente marino. Considerando que la mayor parte de los edificios del litoral mediterráneo se han resuelto con estructura de hormigón armado, la importancia de los efectos del ambiente sobre estos edificios es relevante.

La revisión bibliográfica realizada en esta Tesis Doctoral revela que existe una amplia información disponible sobre los distintos aspectos de la durabilidad del hormigón armado en atmósferas marinas. Sin embargo, esta información es, en ocasiones, de aplicación demasiado general para estructuras de hormigón armado, sin entrar en detalle en las tipologías edificatorias planteadas en esta investigación ni en la costa valenciana. Tampoco se manifiesta la importancia que puede tener la vulnerabilidad de las poblaciones al ambiente marino para un correcto análisis de la durabilidad de las estructuras de edificaciones en la costa valenciana.

El modo en que las sucesivas normas de hormigón armado consideraban la atmósfera marina, donde se dejaba a criterio del proyectista la definición de las medidas necesarias para proteger el hormigón, y donde además no se especificaba el nivel de agresividad de este tipo de ambiente, han hecho que las medidas de protección adoptadas hayan sido insuficientes para la integridad de los edificios situados cerca del mar. Sobre todo, es especialmente relevante no haber dado al ambiente de atmósfera marina la importancia que realmente tiene, habiendo relegado la construcción de los edificios a las prácticas constructivas habituales en otros tipos de ambiente menos agresivos.

1.2. Relevancia de la temática estudiada

Una vivienda se considera de segunda residencia cuando es utilizada solamente durante parte del año, de forma estacional periódica o esporádicamente y no constituye residencia habitual (INE 2015). Como se ha visto en la introducción de este *Capítulo 1*, los edificios de segunda residencia del litoral representan un importante porcentaje dentro del parque inmobiliario de la Comunidad Valenciana, tal y como se puede apreciar en la Fig. 1.1, que corresponde a los datos extraídos del censo de viviendas (INE 2015). En la Fig. 1.1 se representan las viviendas de primera y segunda residencia y las vacías existentes en la Comunidad Valenciana en el último censo publicado, en este caso el año 2011.

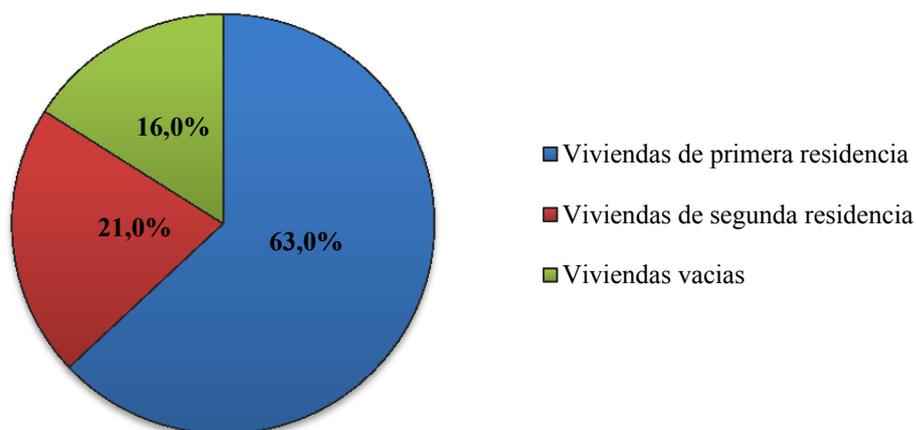


Fig. 1.1 Porcentajes de viviendas de primera residencia, segunda residencia y vacías existentes en 2011

Se puede apreciar que existe un porcentaje en torno al 21,0 % de viviendas de segunda residencia. Este dato pone de manifiesto la importancia que tiene este tipo de edificaciones en el parque inmobiliario de la Comunidad Valenciana.

Cada vez son más frecuentes las situaciones en las que resulta necesaria una intervención sobre un edificio de esta tipología, con el objeto de reparar o reforzar su estructura. Por ello, el conocimiento del estado del conjunto de edificios de segunda residencia es esencial tanto

para los profesionales como para los diferentes Organismos Oficiales. A pesar de la importancia que este conocimiento podría tener en una futura concepción urbanística y regeneración urbana de la costa valenciana, no se ha desarrollado hasta la fecha ninguna investigación que examine el porcentaje de edificios afectados por lesiones de tipo estructural y su nivel de importancia.

Además, es de destacar que el parque inmobiliario de esta tipología edificatoria en el litoral valenciano, por sus características y situación, presenta un alto grado de vulnerabilidad a la atmósfera marina. Los principales factores que afectan a este grado de vulnerabilidad son: la exposición a los agentes atmosféricos, la distancia al mar y la situación de los mismos con respecto a la línea costera. También la morfología de las localidades, con aglomeración de edificaciones de este tipo, favorece que exista un alto grado de exposición en estos edificios. Otro de los factores que afectan a la vulnerabilidad es la antigüedad de estas edificaciones dentro de la costa valenciana.

Por todo lo expuesto en el párrafo anterior, queda de manifiesto la importancia del conocimiento del grado de vulnerabilidad a nivel de las poblaciones para poder comprender el estado del parque inmobiliario de edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar que permita futuras actuaciones de regeneración urbana.

Así mismo, cuando se lleva a cabo una primera inspección ocular al estado de un edificio para realizar un informe previo, muchas veces es necesario conocer los antecedentes y las características generales de la zona donde se ubica. Por ello, el conocimiento de la vulnerabilidad de las poblaciones y el estado del parque inmobiliario puede ser una herramienta útil de cara a prever los posibles daños y si éstos están relacionados con la exposición al ambiente marino.

Otro aspecto sumamente importante para conocer el estado del parque inmobiliario de la tipología edificatoria examinada, es el estudio de las formas de construcción características del litoral valenciano. Es por ello ineludible la necesidad de análisis de la construcción de los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar, a través del estudio de la tradición constructiva en la costa valenciana.

Por todo lo descrito en los párrafos anteriores y como se verá en las conclusiones del *Capítulo 2*, resulta necesario conocer el estado del parque inmobiliario de los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar. Este conocimiento se realiza a través del estudio del porcentaje de edificios con daños estructurales y las causas que los han producido, del grado de vulnerabilidad a la exposición de agentes agresivos de las poblaciones donde se ubican, y el análisis de la tradición constructiva del litoral valenciano. Siguiendo el planteamiento

descrito, será posible realizar intervenciones de tipo regeneración urbana más acordes a la situación real de este parque inmobiliario.

1.3. Objetivos

El objetivo principal de esta tesis doctoral es determinar el estado del parque inmobiliario de las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar, situadas en la costa valenciana, a través del estudio de:

- la tradición constructiva asociada a los inmuebles de segunda residencia en bloque plurifamiliar situados en la costa valenciana,
- las manifestaciones patológicas y lesiones más características en las estructuras, así como el análisis de las intervenciones estructurales llevadas a cabo en las edificaciones de esta tipología,
- la vulnerabilidad a la atmósfera marina de las poblaciones donde se sitúan las edificaciones de segunda residencia, y
- la relación entre las lesiones en las estructuras y la vulnerabilidad de las poblaciones.

El objetivo principal se alcanzará a partir de la consecución de los objetivos parciales que se detallan a continuación:

- Realizar un examen global de todas las poblaciones de la costa valenciana, a partir del análisis de las características orográficas y de exposición, la situación de su parque inmobiliario de segunda residencia con respecto a la costa, la antigüedad de este parque inmobiliario y el crecimiento urbanístico soportado.
- Estudiar la tradición constructiva característica de los inmuebles de segunda residencia en bloque plurifamiliar situados en la costa valenciana.
- A partir del primer punto, efectuar un examen más exhaustivo en varias poblaciones costeras valencianas, que aglutinan la casuística posible de núcleos urbanos en donde predomina la tipología edificatoria estudiada.
- A través de una investigación del estado de las estructuras de estas edificaciones dentro de los núcleos urbanos, efectuar un análisis de las lesiones más características y el nivel de daños. A partir de esta información, se determinará un índice de daños para cada población.
- Estudiar la vulnerabilidad de las poblaciones, en función de variables tales como: el nivel de exposición a los agentes atmosféricos, la situación con respecto a la línea de costa de las edificaciones, la edad del parque inmobiliario de segunda residencia en bloque plurifamiliar y la morfología de crecimiento urbanístico de estos núcleos. Este estudio se realizará a partir del análisis de estas variables. Posteriormente, determinar

la importancia de las variables comparando los factores de vulnerabilidad con el índice de daños de cada población.

- Realizar un análisis pormenorizado de un caso en una población de la costa valenciana, a través del examen de la vulnerabilidad de la población para, posteriormente, realizar un examen minucioso de los daños existentes en la estructura de un edificio ubicado en esa localidad.

La investigación realizada pretende aunar diferentes disciplinas, como son: Urbanismo, Arquitectura, Ingeniería Estructural y Química de los Materiales. Todas ellas se extrapolarán al caso de edificios bajo el efecto del ambiente marino.

Los núcleos urbanos escogidos para el estudio de la vulnerabilidad, así como de las lesiones en las estructuras de las edificaciones y las intervenciones realizadas, están contemplados en la Fig. 1.2. En el *Capítulo 6* se detallarán los motivos que han llevado a escoger estas poblaciones.

El análisis del caso real de una edificación con daños, se ha realizado en una de las localidades definidas en la Fig. 1.2, que presenta una vulnerabilidad alta a las variables anteriormente reseñadas, y , por su ubicación, está sometida a una elevada exposición al ambiente marino.

En esta investigación se han omitido localidades con características singulares en relación al tamaño del núcleo poblacional, tipo de urbanismo o régimen turístico diferente a las demás poblaciones (estancias turísticas regladas). En definitiva, se puede afirmar que los núcleos urbanos donde se ha centrado el estudio son representativos del total de poblaciones del litoral valenciano

1.4. Contenido

El contenido de la presente tesis doctoral se estructura como se muestra a continuación:

- *Capítulo 1.* Introducción y objetivos.
- *Capítulo 2.* Antecedentes y Estado del arte.
- *Capítulo 3.* Estudio de las características del litoral valenciano.
- *Capítulo 4.* Características constructivas de la tipología residencial de segunda residencia en bloque plurifamiliar.
- *Capítulo 5.* Manifestaciones patológicas más comunes y sus efectos sobre las estructuras.
- *Capítulo 6.* Vulnerabilidad de las poblaciones del litoral valenciano al ambiente marino. Factores de vulnerabilidad

- *Capítulo 7.* Estudio de un caso particular en el litoral valenciano.
- *Capítulo 8.* Conclusiones y propuesta de nuevas investigaciones.

Además de estos capítulos, se incluye la bibliografía referenciada a lo largo de este trabajo, así como una sección final de anexos.

En este *Capítulo 1* se lleva a cabo una introducción a la Tesis Doctoral, planteando la relevancia del tema y la necesidad de realizar el estudio de la situación actual de las estructuras de edificación de segunda residencia en bloque plurifamiliar en la costa valenciana. Así mismo, se define el objetivo principal y los objetivos parciales que se pretenden cubrir con la investigación llevada a cabo.

El *Capítulo 2* presenta el estado del arte relativo al crecimiento urbano en la costa valenciana, con un estudio sobre la cronología urbanística del todo el litoral y las morfologías de crecimiento asociadas a los diferentes booms inmobiliarios. También se define lo que se conoce como edificación de segunda residencia en bloque plurifamiliar. Se presenta el concepto de durabilidad en la normativa actual y cómo ha sido tratado el ambiente marino en las normas del hormigón armado que han existido a lo largo del período estudiado, que va desde el año 1968 hasta el 2007. Finalmente se presenta un resumen de aspectos contemplados en este trabajo sobre corrosión de armaduras, factores que influyen en la corrosión en ambiente marino y sus efectos sobre el hormigón armado.

En el *Capítulo 3* se expone un estudio global, a lo largo de todo el litoral valenciano, de todos los núcleos urbanos en los que está presente la tipología edificatoria estudiada, a través del análisis de la orografía y la exposición, la situación de las edificaciones con respecto a la línea de costa, la ubicación del núcleo urbano tradicional, el crecimiento urbanístico y los años de construcción.

En el *Capítulo 4* se examinan las características constructivas tradicionales en la costa valenciana, primero de un modo general, y luego por épocas de construcción.

El *Capítulo 5* contiene el estudio de las manifestaciones patológicas en estructuras de edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar. Para efectuar el estudio, se realiza un examen de la situación actual de los edificios por medio de: observación in situ, revisión de proyectos de reparación, encuestas a profesionales de la construcción y recopilación de datos en organismos oficiales. Una vez realizado el trabajo de investigación, se evalúan las causas más comunes de lesiones, la ubicación de las mismas y sus efectos sobre las estructuras para, posteriormente, estimar un índice de daños por poblaciones.

A partir de los resultados obtenidos en el *Capítulo 3*, se realiza una selección de los núcleos

urbanos que recogen la casuística analizada, en los cuales se efectúa un estudio pormenorizado de la vulnerabilidad, teniendo en consideración: la exposición a los factores atmosféricos, la ubicación, la edad de su parque inmobiliario y el crecimiento urbanístico soportado. A partir de este estudio, se calculan unos factores de vulnerabilidad para las poblaciones a partir del estudio de las variables comentadas anteriormente y relacionándolo con el índice de daños del *Capítulo 5*. Este trabajo se presenta en el *Capítulo 6*.

En el *Capítulo 7* se aplica el método planteado en el *Capítulo 6* sobre el estudio de la vulnerabilidad, extrapolándolo al caso concreto de la localidad de Cullera. Posteriormente, se analiza un edificio de la tipología planteada en esta Tesis Doctoral, que presenta daños en diferentes elementos estructurales, ubicado en Cullera, en una zona altamente expuesta al ambiente marino.

Por último se presenta el *Capítulo 8*, con las conclusiones extraídas del trabajo y la propuesta de nuevas investigaciones.

Dentro de los *Anexos*, que se incluyen al final de la Tesis Doctoral, en el *Anexo A*, se presenta un estudio cronológico de las diferentes normas de hormigón armado publicadas durante la época analizada, en base a las características de ejecución de las obras y del tratamiento que realizan con respecto a la durabilidad.

En el *Anexo B* se expone, dentro de los datos para realizar el *Capítulo 4*, un listado con los profesionales entrevistados, su profesión, su especialidad y el período donde ha ejercido su actividad. Además un listado de los proyectos analizados para la realización de este *Capítulo 4*. También, en este *Anexo B*, se presenta el listado de los 52 proyectos de intervención estructural examinados en esta Tesis Doctoral para la realización del *Capítulo 5*.

1.5. Difusión de los resultados obtenidos

Los resultados obtenidos de la investigación llevada a cabo en esta Tesis Doctoral han sido difundidos en forma de un artículo científico publicado en una revista indexada en el Journal Citation Reports, y en una ponencia en un congreso internacional. Es de prever que, tras la defensa de esta Tesis, se pueda difundir el conocimiento adquirido de esta investigación en forma de, al menos, otro artículo científico.

El artículo publicado en revista queda referenciado del siguiente modo:

Moreno, J.D.; Bonilla, M; Adam, J.M.; Borrachero, M.V.; Soriano, L (2015); “Determining corrosion levels in the reinforcement rebars of buildings in coastal areas. A case study in the

Mediterranean coastline". Construction and Building Materials, Num. 100; pg. 11-21.



Fig. 1.2. Ubicación de las localidades estudiadas

En este artículo se presenta el estudio llevado a cabo en el caso de estudio descrito con más detalle en el *Capítulo 7*, donde se evalúa el estado de la estructura de un edificio de hormigón armado, analizando el nivel de corrosión de las armaduras mediante técnicas de microscopía óptica y electrónica.

La ponencia presentada queda referenciada del siguiente modo:

Moreno, J.D.; Bonilla, M; Adam, J.M. (2015);” Manifestaciones patológicas en edificios de segunda residencia de la costa valenciana en relación con la tipología constructiva”. En XII Congreso Latino-Americano de Patología en la Construcción, CONPAT 2015. Instituto Superior Técnico de la Universidad de Lisboa. Lisboa (8-10 de Septiembre)

En esta ponencia se presenta un resumen del estudio realizado, particularizado para dos localidades de la Costa Valenciana: Oropesa del Mar y Xeraco, a través del análisis de las características constructivas afines a esta tipología edificatoria y su influencia en las manifestaciones patológicas observadas.

CAPITULO 2. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

2.1. Introducción

En este *Capítulo* se presenta un resumen de los diferentes conceptos relativos al tema tratado en este trabajo, una noción de lo que se conoce como edificación de segunda residencia y, dentro de ésta, los edificios en bloque plurifamiliar.

Dentro del significado de edificación de segunda residencia en bloque plurifamiliar, se analizarán las diferentes concepciones de edificios asociadas a esta tipología.

Una vez expuesta y definida la tipología edificatoria que se pretende estudiar, se procederá a realizar un estado del arte sobre el crecimiento urbanístico experimentado en la costa valenciana, a través de un estudio de tipo cronológico del mismo.

Para poder entender las características constructivas y la tradición en la construcción de edificios en el litoral valenciano, se efectúa un análisis de las diferentes normativas de hormigón armado en los últimos cuarenta años, haciendo especial énfasis en el control de la calidad del hormigón. En este *Capítulo* se muestra cómo ha ido evolucionando el tratamiento normativo en cuanto a aspectos relacionados con la durabilidad, las prescripciones y características relativas a los tipos de ambiente, en particular para el ambiente marino, en los períodos analizados.

En el *Anexo A* se presenta un estudio comparativo pormenorizado de la normativa del hormigón durante la época estudiada.

Así mismo, se exponen los factores externos que actúan sobre el comportamiento de las estructuras de la tipología edificatoria estudiada frente al ambiente marino. Se analiza además, dentro del estado del conocimiento, la corrosión de las armaduras del hormigón armado y sus efectos sobre las estructuras. Por último, se indaga en los factores constructivos y del hormigón que afectan a las armaduras en este tipo de ambiente.

2.2. Concepto de Edificación de Segunda Residencia

El concepto de residencia está ligado al de casa y a hogar. El diccionario de la Real Academia de la Lengua Española (*R.A.E. 2015*) define residencia o casa como: “(Del lat. *Casa, choza*)

Edificio para habitar 2. Piso o parte de una casa, en que vive un individuo o familia 3. Familia de una casa 4. Estados, vasallos y rentas de un señor...9. Casa abierta. Domicilio también estudio o despacho del que ejerce profesión, arte o industria”.

De acuerdo con el uso de la residencia, existen dos tipos de viviendas: la primera y la segunda residencia. Por primera residencia debemos entender la vivienda principal o aquella donde las personas residen la mayor parte del tiempo. Como se ha visto en el *Capítulo 1*, según el Instituto Nacional de Estadística, una vivienda es secundaria cuando es utilizada solamente durante parte del año, de forma estacional periódica o esporádicamente, y no constituye residencia habitual (INE 2015). Estas viviendas se suelen ubicar en las zonas costeras turísticas o rurales para el disfrute del entorno natural.

Por tanto, para catalogar un edificio como de segunda residencia, sería aquel en que las viviendas son dedicadas a utilizarse únicamente de forma estacional. Según la definición aportada por la Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio, (ORDEN 8/2015), el edificio que se puede considerar como de segunda residencia es aquel donde más del 70 % de las viviendas no son ni primera residencia ni vivienda principal. No obstante, y en relación a edificios de este tipo en cascos urbanos de localidades costeras (como puede ser el caso de Oropesa del Mar, Benicàssim, Cullera, Calpe, etc.) que son usados todo el año, habrá que añadir que son aquellos que han sido construidos para que más del 70% de las viviendas se hayan concebido para ser usadas como segunda residencia.

A partir del enunciado descrito en el párrafo anterior se define la tipología de bloque plurifamiliar: edificio que alberga a más de una vivienda y que puede compaginarse con locales comerciales. La definición que se hace de las tipologías edificatorias en los manuales de arquitectura y los reglamentos de viviendas, definen el bloque plurifamiliar como: “*edificación que se desarrolla en altura, mediante la ubicación de las viviendas en plantas sucesivas*” (ORDEN 1999/3917).

A efectos del desarrollo teórico y práctico de esta tesis doctoral, entenderemos que el estudio se realiza para la tipología de edificación de segunda residencia en bloque plurifamiliar, esto es *edificios de más de una vivienda, que se desarrollan en altura, mediante la ubicación de viviendas en plantas sucesivas, con el 70 % o más de ellas dedicadas a segunda residencia*. Esta definición nos permite acotar el trabajo y definir un modelo global para los diferentes núcleos urbanos estudiados, admitiendo que las conclusiones se deberán basar en esta tipología edificatoria.

A continuación, se analizan las diferentes formas edificatorias pertenecientes a esta tipología.

2.2.1. Tipologías de edificios asociadas a la edificación de segunda residencia en bloque plurifamiliar

Para poder definir las características específicas de las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar, es necesario delimitar las formas tipológicas de estos edificios. Como se aprecia en las referencias bibliográficas sobre el urbanismo de la costa valenciana (*Pecourt et al. 1997, Ferrer 2002*), existen unas tipologías específicas asociadas a estas edificaciones que vienen reflejadas en los diferentes manuales de arquitectura presentes en la bibliografía. No obstante, y para el objeto de esta tesis doctoral, se va a utilizar las definiciones descritas en el Reglamento de Zonas de Ordenación Urbanística de la Comunidad Valenciana (*ORDEN 1999/3917*):

“Las edificaciones son susceptibles de diferenciarse en tipologías edificatorias, en función de la relación que se establece entre esas edificaciones y los diferentes sistemas de ordenación (manzana, bloque, adosados, aislados, etc.) de la parcela donde se ubican” (ORDEN 1999/3917).

Analizando el párrafo anterior, el Reglamento distingue varias tipologías, atendiendo al tipo de manzana donde se ubican, por lo que se pueden dividir en:

- Manzana compacta: Se denomina manzana compacta a aquella en la que predomina la superficie ocupada por las construcciones respecto a los espacios libres interiores, que se distribuyen de modo disperso y aleatorio en las diferentes parcelas que componen la manzana (Fig. 2.1 a).
- Manzana abierta: Se considera manzana abierta a aquella en la que las edificaciones se distribuyen por la misma, separados los bloques o edificaciones creando un frente no cerrado (Fig. 2.1. b). Dentro de esta última, la manzana puede ser un conjunto de parcelas, dentro del ensanche, o disponer de un único edificio.

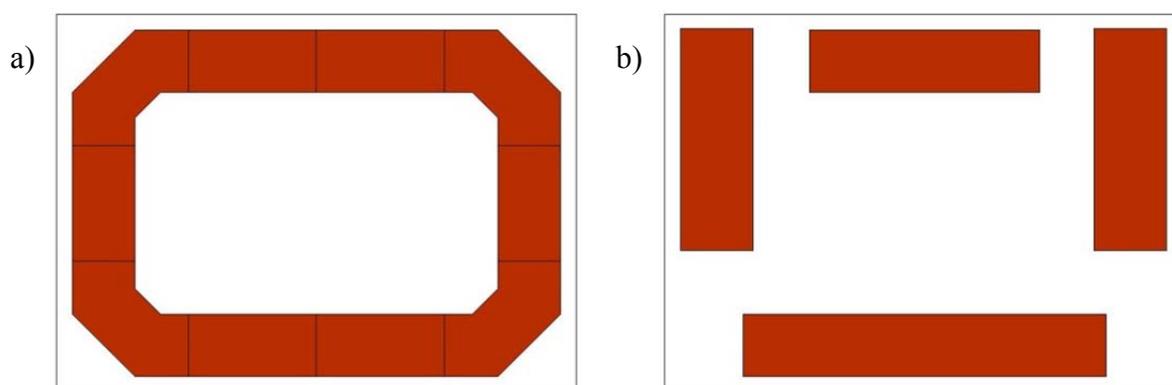


Fig. 2.1. Tipologías de manzanas: a) Manzana cerrada b) Manzana abierta

En cuanto a la ubicación de la edificación dentro de la manzana se puede distinguir:

- Bloque entre medianeras: Se denomina bloque entre medianeras aquel que comparte una o varias paredes con una edificación ubicada en otra parcela (Fig. 2.2.a)
- Bloque exento: Se denomina bloque exento a la edificación que se sitúa separada de todos los lindes de la parcela. Dentro de la tipología edificatoria de bloque exento se pueden dar otras dos soluciones:
 - Tipo lineal (Fig. 2.2 b) es aquel en que una de las dimensiones en planta prevalece sobre las otras.
 - Tipo Torre (Fig.2.2c) es aquel en donde no existe una dimensión en planta significativamente mayor que las demás.

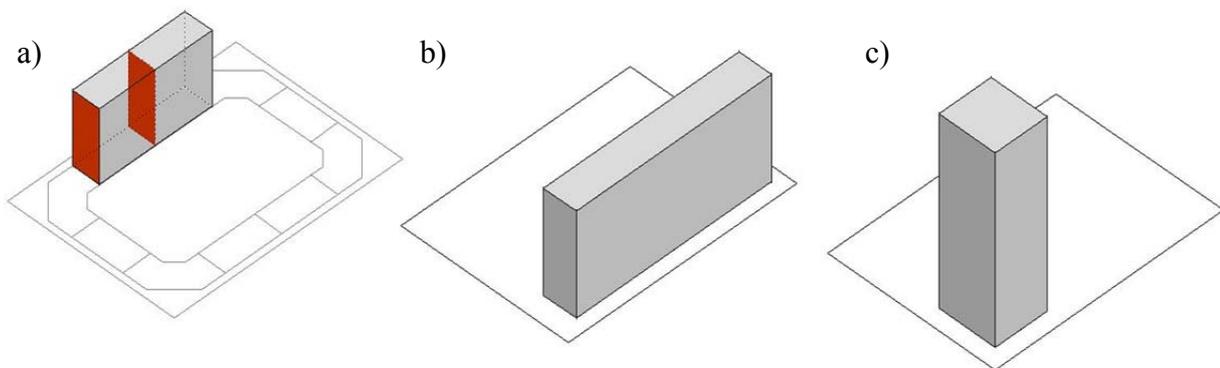


Fig. 2.2. Tipologías de edificación: a) Entre medianeras b) Bloque lineal c) Bloque torre

A efectos de esta tesis doctoral, las manzanas cerradas presentan un frente compacto, con una fachada más expuesta al viento que las otras. Así mismo, estas manzanas se suelen disponer en un tejido urbanístico de Ensanche que, habitualmente, es más denso en comparación con otras formas de crecimiento urbanísticas. En las manzanas abiertas, en cambio, los frentes no son uniformes, aunque suelen seguir la alineación de manzana, y los edificios disponen de cuatro fachadas expuestas.

Con respecto a las edificaciones, la tipología entre medianeras se asocia, principalmente, a la manzana compacta. En este caso se mantiene lo comentado para las manzanas cerradas en cuanto al nivel de exposición.

Los bloques lineales y tipo torre se suelen disponer en manzanas individuales o en parcelas de grandes dimensiones. En relación con la exposición, se genera bastante espacio entre bloques, con lo que se disipa el efecto pantalla por acumulación. Además se suelen ubicar en zonas urbanísticas con viales entre ellas, lo que produce un urbanismo más difuso.

2.3. Una aproximación al urbanismo de la costa valenciana del siglo XX

Definido el concepto de edificación de segunda residencia en bloque plurifamiliar y los sistemas de ordenación dentro de este tipo de edificios, a continuación se realiza un recorrido por el urbanismo en el litoral valenciano, particularizado en esta tipología, a través de los últimos cincuenta años.

La costa valenciana ha experimentado desde los años 70 un giro sustancial en cuanto a los usos que se localizaban en los municipios ubicados cerca de la línea costera. De un uso agrícola mayoritario, se ha pasado a un paisaje dominado por nuevas urbanizaciones (*Obiol et al. 2011*).

Este cambio de patrón ha tenido su origen en las expectativas que se abrieron con la Ley Urbanística del Suelo (*B.O.E 135/56 1956*), donde se abogaba por el desarrollo de la costa basándose en la construcción de viviendas de segunda residencia, apartamentos y hoteles, convirtiendo la oferta turística en el motor económico de las zonas costeras de la Comunidad Valenciana.

Este tipo de urbanismo llevó a la construcción masiva del litoral costero, multiplicando la población asentada en la costa. Como consecuencia de este incremento, el parque de viviendas de las poblaciones turísticas de las provincias de Alicante, Castellón y Valencia aumentó considerablemente, sobre todo en períodos estacionales fijos como verano y festividades (*Obiol et al. 2011*).

2.3.1. Evolución del crecimiento de las poblaciones de la costa valenciana a finales del siglo XX. Planes Urbanísticos

En el año 1953 se firmaron, por parte del Gobierno Español, los acuerdos con EEUU que pusieron fin al aislamiento internacional de España, marcando un período de liberalismo económico que daría paso al boom turístico e industrial de los años 60 (*Ortuño 1980*).

Tanto el crecimiento industrial como el turístico se concentran mayoritariamente en el litoral, provocando unas corrientes migratorias desde el interior buscando el sol y la playa mediterránea (*Salom 2011*). Una de las características de estos procesos migratorios es la carencia de infraestructuras y de viviendas en los municipios que crecían de manera rápida, como consecuencia de no poder atender la demanda de visitantes. Poblaciones que antes eran meramente agrícolas o dedicadas a artes tradicionales soportan un aumento significativo de población durante un cierto período estacional (*Burriel de Orueta 2008*), provocando un auge en las construcciones para tal fin. Así mismo, se produce una transformación en la tipología edificatoria de estas localidades, pasando de viviendas de tipo unifamiliar y de baja altura, a

edificios plurifamiliares de grandes alturas y elevada edificabilidad.

Un aspecto importante para entender el urbanismo, tal y como se conoce hoy en día, queda descrito en la Ley del Suelo de 1956 (*B.O.E 135/56, 1956*), donde se especifica que las decisiones sobre el destino del suelo y su potencial transformación urbanística pasan a ser, desde entonces, gestionadas por los poderes públicos y sujetas a un proceso de racionalización global del territorio a partir del denominado Plan de Ordenación (*Rodríguez 2006*).

En estos planes, se promovió una tipología edificatoria que pretendía el aprovechamiento del suelo cerca de la playa, con complejos edificatorios en altura para poder explotar las vistas hacia la misma. Además, se disponía de un terreno privado adyacente al edificio donde poder ubicar las zonas comunes de uso y disfrute de los usuarios. A finales de los años 60 y principios de los 70, se impone esta tipología urbanística en municipios costeros de tradición turística, con el aumento de población que conlleva (*Aledo 2008*).

A mediados de los años 70, se produce un freno en la edificación y, en particular, en los inmuebles de tipo turístico debido a coyunturas socio-económicas como la crisis del petróleo de 1973 y la incertidumbre política en España, que hace retroceder el ritmo de la construcción de segundas residencias en la costa. Esta ralentización en el volumen de construcciones efectuadas en el litoral continuará hasta principios de los 80 (*Rodríguez 2006*).

En la década de 1980, la mayoría de municipios valencianos desarrollaron su planificación territorial. Los que superaban los 5.000 habitantes estaban obligados a realizar un P.G.O.U. (Plan General de Ordenación Urbana) (*Salom 2011*). Es de resaltar aquí que muy pocos municipios lo han revisado desde 1994, año que entró en vigor la Ley Reguladora de la Actividad Urbanística L.R.A.U. (*Oriol et al. 2011*).

La Comunidad Valenciana tiene capacidad legislativa propia en distintos ámbitos desde la entrada en vigor del Estatuto de Autonomía en 1982 (*DOCV 74/1982*). Sin duda, el que más repercusiones generales ha tenido es el ámbito de la ordenación territorial, donde se han sucedido distintas directrices y polémicas desde la L.R.A.U. de 1994 (*DOGV 2394/1994*).

A partir del año 1986 se producen nuevos cambios en el sistema financiero español. Es una etapa de crédito caro, pero abundante (*Rodríguez 2006*). Este acceso al crédito provoca un auge en la compra de viviendas por parte de la población. Este auge también se deja notar en la construcción de edificaciones de segunda residencia, sobre todo en la costa valenciana.

En esta década, se desarrollan los municipios que no habían prosperado en el desarrollo del turismo residencial (*Oriol et al. 2011*). La tipología edificatoria sigue el mismo patrón que en la década anterior, con edificaciones altas, coeficiente de edificabilidad siempre mayor que

uno y una ocupación de parcela que permitía disponer de zonas comunes anexas.

El cambio de expectativas derivado de la Guerra del Golfo (1991) y las medidas de freno al aumento del crédito hipotecario, produjo un retroceso en la actividad constructiva en toda España y, en particular, en la costa valenciana (*Rodríguez 2006*). Esta recesión constructiva se mantendrá hasta finales de los años 90, en concreto hasta 1997.

Desde finales de los años 90, marcados por la reanimación económica, se ha experimentado una dispersión urbana por el territorio, extendiéndose nuevos modelos de organización física de las áreas residenciales que han llevado a hablar de “*urbanización dispersa*” (*Aledo 2008*). Con la L.R.A.U., los cambios fueron sustanciales, apareciendo la figura del Urbanizador. Éste tenía potestad para gestionar la urbanización de zonas que, aunque eran acotadas por los Planes Generales de Ordenación, no requerían del concurso de la Administración para ejecutarla (*Burriel de Orueta 2008*). En el caso del litoral mediterráneo, este modelo de organización ha dado lugar a “*una conurbación litoral constituida por una serie de espacios urbanizados fragmentarios, carentes de una verdadera articulación urbana*” (*Salom 2011*). Este proceso ha tenido lugar en un marco normativo caracterizado por la fragmentación del mapa institucional español y la tendencia hacia la desregulación del urbanismo con una mayor intervención de los agentes privados (*Salom 2011*).

La mejora de la accesibilidad de las poblaciones durante estos años, y esta política de urbanización desarrollada por la L.R.A.U., impulsa el tercer gran crecimiento de estos municipios. En la década de los 90, la Consellería de Obras Públicas y Urbanismo elaboró, en el marco del “Plan de Desarrollo Urbanístico”, un estudio del sistema territorial regional y su vertebración, con lo que impulsó el acceso a zonas costeras desde el interior (*Obiol et al. 2011*). En esta época los municipios costeros de la Comunidad Valenciana presentan un crecimiento urbanístico sin precedentes. De acuerdo con los datos del proyecto Corine Land Cover (*Corine Land Cover 2000*), entre 1987 y 2000 el incremento del suelo urbanizado en la Comunidad Valenciana fue del 52,1 %, del cual el 41,4% correspondía al crecimiento de zonas urbanas, con un marcado predominio de las áreas metropolitanas, los principales ejes de comunicación y los espacios litorales.

En la Fig. 2.3 se representa el incremento de superficie construida (entendiendo como tal las zonas urbanas, zonas comerciales, industriales y de transportes, zonas mineras, vertederos y construcción y las zonas verdes artificiales, tal y como expresa el proyecto Corine Land Cover en la Comunidad Valenciana desde 1987 hasta 2005 (*Corine Land Cover 2000*).

En 2005, los niveles de urbanización de la franja costera de la Comunidad Valenciana eran elevados, con un 33 % de su primer kilómetro de litoral- entendiendo éste desde la línea de

costa hacia el interior- ocupado con construcciones de diversa índole. Ya entonces, Alicante sobrepasaba esta cifra con un 49,3% (una de las mayores en todo el litoral español, sólo superada por Málaga y Barcelona), seguida de Valencia con un 28,7 % y Castellón con un 23,5%. La tendencia general observada entonces en la costa era la de continuar construyendo. Ese mismo año, las previsiones para 2015 indicaban que el parque de viviendas de segunda residencia alcanzaría el medio millón, repartido entre las tres provincias valencianas (*Corine Land Cover 2000*).

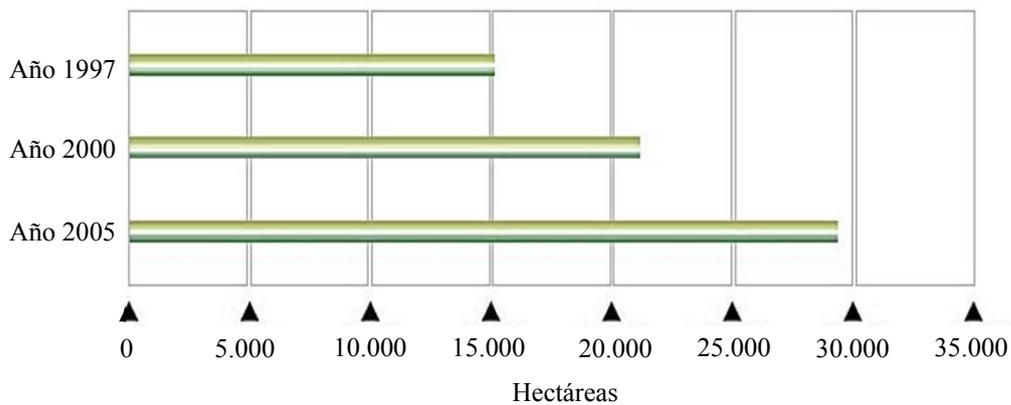


Fig. 2.3. Incremento de la superficie construida en la C. Valenciana (*Corine Land Cover 2000*)

Las Fig. 2.4 y Fig. 2.5 representan una imagen por colores de las viviendas iniciadas por mil habitantes, la primera del año 1996 y la segunda en el período 1997-2006 (*Burriel de Orueta 2008*). Se puede apreciar en la Fig. 2.4 que en el año 1996 el número de viviendas por mil habitantes estaba en 5-9 en las provincias de Castellón y Alicante y menor de 5 en Valencia. En cambio, en el período 1997-2005 el número de viviendas construidas pasa a ser de 20-29 (Fig.2.5) en las provincias de Castellón y Alicante, denotando que se mantiene el ritmo de crecimiento urbanístico en esas zonas.

Como resumen de este apartado, se presenta la Tabla 2.1 en donde se aprecia los aspectos que condicionaron la evolución del urbanismo en la costa valenciana en los últimos 60 años.

2.3.2. Consecuencias del crecimiento urbanístico

La consecuencia más inmediata del crecimiento urbanístico desmesurado es la aparición de un frente marítimo en el litoral valenciano marcado por la presencia de edificaciones de segunda residencia, tanto unifamiliares, como en bloques plurifamiliares.

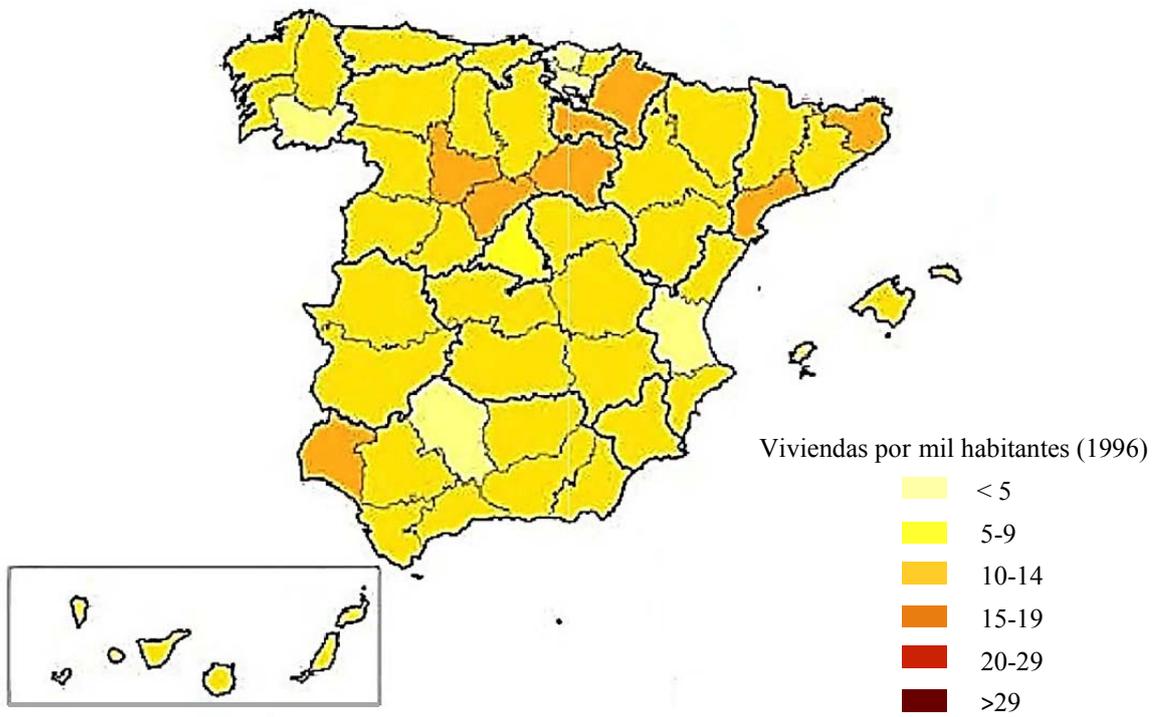


Fig. 2.4. Viviendas iniciadas por mil habitantes en 1996. Fuente: Ministerio de la Vivienda

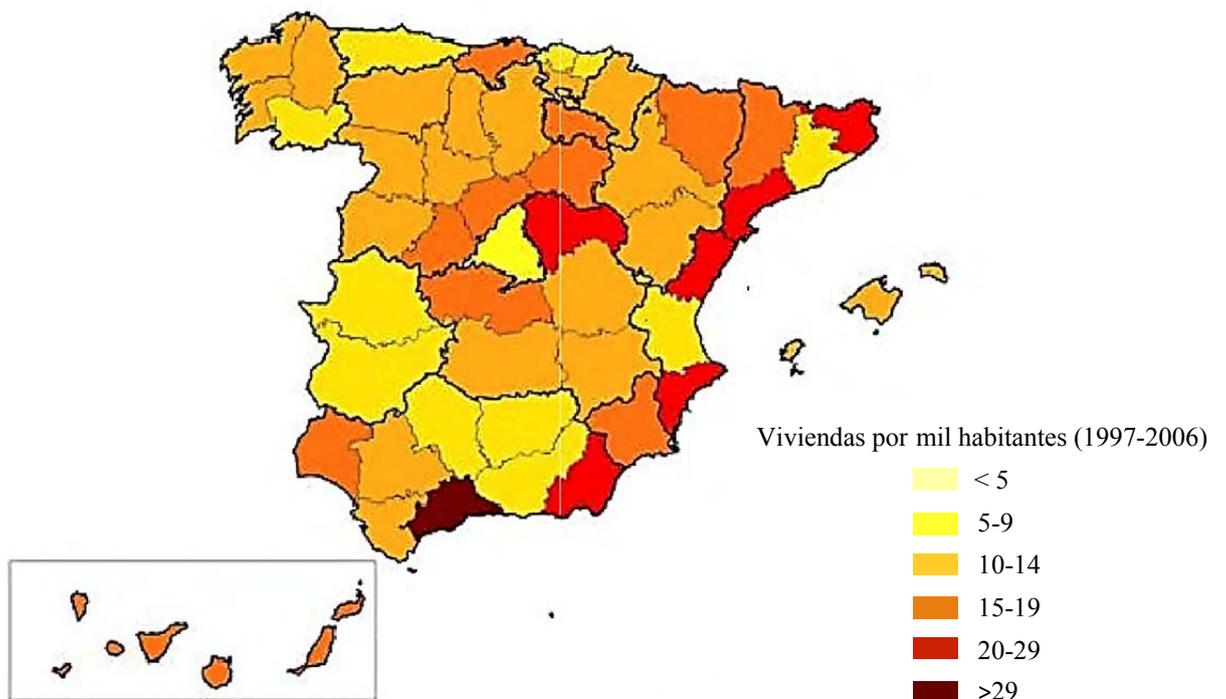


Fig. 2.5 Viviendas iniciadas por mil habitantes entre 1997 y 2006. Fuente: Ministerio de la Vivienda

Tabla 2.1.

Aspectos que marcaron la evolución del crecimiento urbanístico en la costa valenciana

Años	Concepto	Consecuencias
1953	Firma de los acuerdos con EEUU	Fin del aislamiento Español
1956	Promulgación de la Ley del Suelo	Aparición de los planes municipales
1969-1973	Apertura exterior de la economía española	Boom inmobiliario y turístico en la costa
1973-1985	Crisis del Petróleo. Medidas de ajuste	Recesión en la construcción de viviendas
1982	Estatuto de Autonomía de la Comunitat Valenciana	Aparición del concepto de P.G.O.U.
1986-1991	Cambios en el sistema financiero. Acceso a créditos	Segundo Boom inmobiliario
1992-1997	Guerra del Golfo. Freno al crédito hipotecario	Recesión de la construcción
1994	Entra en vigor la LRAU	Figura del Urbanizador.
1997-2007	Reactivación económica	Tercer Boom inmobiliario
2007-2015	Crisis de la construcción	Recesión en la construcción

El modelo de urbanización de las diferentes poblaciones del litoral valenciano sigue con bastante fidelidad un patrón de organización espacial: la playa-vial de separación-urbanización y una edificación en altura (*Pecourt et al. 1997*).

En este contexto, se desarrolló un modelo urbanístico en la costa con características específicas, como son: un alto coeficiente de edificabilidad por parcela, grandes alturas de edificación y una ocupación limitada del solar por la edificación. Todo ello llevó a la implantación de bloques que siguen pautas estándar de forma, composición y construcción, sin la menor voluntad de construir espacios exteriores (*Pecourt et al. 1997*).

La edificación intensiva de localidades cercanas a la costa generó un continuo edificado que taponó casi todo su litoral costero, como ocurre en las poblaciones de Torreblanca, Cullera y El Perelló, en donde este entramado ha sustituido a las tradicionales viviendas unifamiliares en hilera características de estas poblaciones costeras (*Pecourt et al. 1997*).

2.4. Las normativas del hormigón armado desde los años 60 y su relación con la durabilidad de las estructuras en ambiente marino

Para poder realizar un estudio de las diferentes soluciones constructivas y estructurales que ha habido a lo largo de los booms turísticos y de crecimiento que se desarrollaron en la costa valenciana, sobre todo en los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar, es necesario estudiar las diferentes normativas de hormigón armado que han estado en vigor en

esos períodos, para así poder comprender las características del hormigón empleado, el uso y tipología de armaduras, tipos de forjado y de vigas, etc.

Se hace también imprescindible conocer la importancia que daban las normas de hormigón armado a la durabilidad y a la influencia de la ubicación de las construcciones expuestas a ambientes agresivos.

En este *Apartado* se realiza un resumen del tratamiento de la durabilidad en las diferentes normativas del hormigón aparecidas desde los años 60. En el *Anexo A* se presenta el análisis completo de las diferencias entre las diversas normativas en relación a los principales aspectos que afectan a la construcción del hormigón: fabricación, puesta en obra, control del hormigón, etc.

2.4.1. Concepto de durabilidad según la normativa actual

La durabilidad se define en la Instrucción para el Hormigón Estructural EHE-08 (B.O.E. 203/2008), como *“la capacidad de una estructura para soportar, durante su vida útil las condiciones físicas, químicas o biológicas a las que va a estar sometida”*, siendo la vida útil de una estructura *“el período de tiempo en el que una estructura conserva los requisitos de proyecto sobre seguridad, funcionalidad y estética sin costos inesperados de mantenimiento”*.

Los procesos de deterioro en el hormigón y las armaduras dependen, en gran medida, de la relación entre el material y el medio ambiente que lo rodea, sobre todo en lo referente a lo que se conoce como micro-clima, esto es: *“las condiciones ambientales en las proximidades de la estructura”* (B.O.E. 203/2008). Para poder evaluar la relación, es necesario conocer tanto el micro-clima como el macro-clima (condiciones generales de la región donde se sitúa). En este sentido, se trabaja con lo que se conoce como grados de exposición a los ambientes (B.O.E. 203/2008).

De acuerdo con la EHE-08, el tipo de ambiente es: *“el conjunto de condiciones físicas y químicas a las que está expuesto un determinado elemento estructural, que pueden provocar su deterioro o degradación por efectos no incluidos en las condiciones de carga consideradas en el diseño estructural”*. El tipo de ambiente nos define la agresividad del medio, ofreciendo unas pautas para poder estimar la durabilidad y la vida útil de las estructuras.

La vida útil de una estructura viene afectada por diferentes agentes dentro de la construcción, como son (B.O.E. 203/2008):

- Proyectista.
- Propiedad.

- Contratista.
- Usuarios.

Para conseguir unas condiciones de durabilidad adecuadas, es importante que se tomen unas medidas específicas, tanto en la realización del proyecto, como en la ejecución de la obra, de modo que permitan la realización de hormigones perdurables en el tiempo. Además, el mantenimiento juega un papel importante dentro de la durabilidad, siendo uno de los factores más importantes que permiten alargar la vida útil de la estructura (B.O.E. 203/2008).

2.4.2. La durabilidad y el tipo de ambiente en las normas de hormigón españolas desde los años 60 hasta el año 2007

Una vez definido el concepto de durabilidad y vida útil de las estructuras, se procede al análisis del tratamiento de la durabilidad en las normas de hormigón armado publicadas desde los años 60. Se realiza el estudio por orden cronológico, según se define en la Tabla 2.2.

La primera normativa publicada desde el año 1960 fue la Instrucción Especial para Estructuras de Hormigón Armado, HA-61 (I.E.T.C.C. 1961). En esta normativa, con respecto a la durabilidad del hormigón armado, se realizaba una distinción entre estructuras que se encontraban en el interior de edificaciones o las que estaban a la intemperie. También si éstas estaban expuestas a la humedad, para calcular el recubrimiento y la separación de armaduras, aunque en ningún momento se hacía referencia específica a los tipos de ambiente. No obstante, en el apartado de armaduras se hablaba de durabilidad y del control de la corrosión a base de controlar el recubrimiento de las propias armaduras. En la norma HA-61 se hacía referencia:

“Recubrimientos mínimos:

- *En interior de edificios: mayor que 1,5 veces el diámetro nominal de la barra*
- *En hormigón armado a la intemperie: 3 cm.”*

Posteriormente, apareció la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón Armado o en Masa, HA-68 (B.O.E. 290/1968). En esta normativa se disponía un apartado relacionado con la durabilidad del hormigón. El artículo 13.3 dice:

“13.3 Distancia a los paramentos:

- Cuando se trate de armaduras principales, la distancia libre entre cualquier punto de la superficie lateral de una barra y el paramento más próximo de la pieza será igual o superior al diámetro de dicha barra.*
- En las estructuras no expuestas a ambientes agresivos, dicha distancia será, además,*

igual o superior a:

- 1 cm, si los paramentos están protegidos
 - 2 cm si los paramentos de la pieza va a estar expuestos a la intemperie o a condensaciones o si van a estar en contacto permanente con el agua.
 - 2 cm en las partes curvas de la barra.
- c. *En estructuras expuestas a ambientes químicamente agresivos, el recubrimiento vendrá fijado por el proyectista*
- d. *La máxima distancia libre admisible entre armaduras exteriores y las paredes del encofrado es de 4 cm.”*

Tabla 2.2.

Normas para el hormigón estructural desde los años 60

Años	Instrucción
1961	La Instrucción Especial para Estructuras de Hormigón Armado HA-61 publicada por el Instituto Eduardo Torroja (I.E.T.C.C. 1961).
1968	La Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón Armado o en Masa HA-68 (B.O.E. 290/1968).
1973	La Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado EH-73 (B.O.E. 293/1973).
1980-1982	La Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obra de Hormigón en Masa o Armado EH-80 (B.O.E. 9/1981). De esta Normativa, se realizó una modificación y posterior refundido en la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obra de Hormigón en Masa o Armado EH-82 (B.O.E. 219/1982).
1988	La Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obra de Hormigón en Masa o Armado EH-88 (B.O.E. 180/1988).
1991	La Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado EH-91 (B.O.E. 158/1991).
1999	La Instrucción de Hormigón Estructural EHE-98 (B.O.E. 783/1999)

Esta norma deja a criterio del proyectista el recubrimiento para zonas químicamente agresivas, como puede ser el ambiente marino, aunque no se especifica si este tipo concreto de ambiente se considera agresivo o no.

En esta normativa EH-68 no estaban especificadas las características técnicas que debía cumplir el hormigón en ambiente agresivo, aunque señalaba que se debía prestar especial atención a los recubrimientos, en el caso de riesgo potencial de corrosión de las armaduras. Se precisaba que los hormigones debían ser homogéneos, compactos e impermeables. Además, se debía elegir el conglomerante según las características de la obra y la naturaleza de los

ataques que debía soportar el hormigón.

A principios de los años 70 apareció la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en masa o Armado EH-73 (B.O.E. 293/1973). En esta normativa, ya se referenciaban aspectos sobre la durabilidad del hormigón y de la necesidad de prestar atención a los recubrimientos de las armaduras en ambientes potencialmente agresivos. Así mismo, disponía que en la fabricación de los hormigones armados se prohibiera el empleo de materiales que aporten sales solubles al hormigón. Además, se debía usar conglomerantes de gran estabilidad volumétrica, para reducir la fisuración.

En el artículo 13.3, que coincide con el de la anterior norma, se disponía:

“d) La máxima distancia libre entre armaduras exteriores y las paredes del encofrado será de 4 cm, pudiendo prescindirse de esta limitación en elementos enterrados o en los hormigonados con técnicas especiales.”

Cabe destacar que esta normativa también dejaba a criterio del proyectista decidir si la zona costera es ambiente agresivo, así como las protecciones que debe tener la estructura.

A principios de los años 80, se publicó la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obra de Hormigón en Masa o Armado EH-80 (B.O.E. 9/1981). En esta norma se seguía manteniendo, a criterio del proyectista, las medidas necesarias en cuanto a compacidad, resistencia del hormigón y recubrimiento en ambientes agresivos. Con respecto a la durabilidad, se especificaba que era necesario considerar, desde la fase de proyecto, el grado de agresividad del ambiente donde fuera a estar ubicada la estructura. La norma introducía la agresividad del ambiente marino, aunque no lo disponía en el articulado. En este sentido, el concepto de ambiente marino fue insertado en los comentarios realizados por el Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, dentro de la norma:

“Por lo que respecta a ambientes químicamente agresivos, conviene recordar que las aguas muy puras, las sulfatadas y las del mar, entre otras, poseen ese carácter en mayor o menor grado.”

En la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obra de Hormigón en Masa o Armado EH-88 (B.O.E. 180/1988) ya se define el grado de exposición ambiental al que está sometida la estructura.

Se distinguen tres tipos de ambientes:

- *Ambiente I: Estructuras en interiores de edificios o medios exteriores de baja*

- humedad (no se sobrepasa el 60 % de la humedad relativa más de 90 días al año).*
- *Ambiente II: Estructuras en exteriores normales (no agresivos) o en contacto con aguas normales o terreno ordinario.*
 - *Ambiente III: Estructuras en atmósfera agresiva industrial o marina o en contacto con terrenos agresivos o con aguas salinas o ligeramente ácidas.*

La atmósfera marina se considera como un ambiente tipo III. La Tabla 2.3 adapta los recubrimientos según la norma EH-88, en la que se representa los recubrimientos mínimos según la distinción en tipos de ambientes. Se aprecia, además, que se diferencian los recubrimientos según la resistencia característica del hormigón armado usado.

Tabla 2.3.

Recubrimientos mínimos (en mm), según las condiciones ambientales de la estructura adaptada de la norma EH-88 (Art. 13.3)

Condiciones ambientales de la estructura	Elementos en general (Mpa)			Paramentos protegidos y piezas prefabricadas (MPa)		
	$f_{ck} < 25$	$25 \leq f_{ck} < 40$	$f_{ck} \geq 40$	$f_{ck} < 25$	$25 \leq f_{ck} < 40$	$f_{ck} \geq 40$
I. Interior de edificios. Exteriores de baja humedad	20	15	15	15	15	15
II. Exteriores normales. Contacto con aguas normales	30	25	20	25	20	20
III. Atmósfera marina o industrial. - Contacto con el terreno. - Contacto con aguas salinas o ligeramente ácidas	40	35	30	35	30	25

En esta norma se establecían también unos valores máximos para la relación agua/cemento y otros mínimos para el contenido en cemento, en función del ambiente que rodea a la estructura. También se especifica la abertura de fisura dependiendo del tipo de ambiente, según los siguientes valores

- *Ambiente I: $w_k \leq 0,4 \text{ mm}$*
- *Ambiente II: $w_k \leq 0,2 \text{ mm}$*
- *Ambiente II: $w_k \leq 0,1 \text{ mm}$*

Las posteriores normas de hormigón, como son la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado EH-91 (B.O.E. 158/1991) y la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-98 (B.O.E. 783/1999), han seguido manteniendo las clases de exposición definidas en la EH-88. La Tabla 2.4 representa las clases de exposición y los recubrimientos mínimos en la normativa EH-91. Como se puede apreciar en esta Tabla 2.4.

Tabla 2.4.

Recubrimientos mínimos (en mm), según las condiciones ambientales de la estructura adaptada de la normativa EH-91 (Art. 13.3)

Tipo Ambiente	Condiciones ambientales	Recubrimiento
Ambiente I	Estructuras en interiores de edificios o medios exteriores de baja humedad (no se sobrepasa el 60 % de la humedad relativa más de 90 días al año)	20 mm
Ambiente II	Estructuras en exteriores normales (no agresivos) o en contacto con aguas normales o terreno ordinario	30 mm
Ambiente III	Estructuras en atmósfera agresiva industrial o marina, o en contacto con terrenos agresivos o con aguas salinas o ligeramente ácidas.	40 mm
	Los valores anteriores podrá disminuirse: En láminas, piezas con paramentos protegidos y piezas prefabricadas	5 mm
	En hormigones de $250 \leq f_{ck} < 400$ kp/cm ²	5 mm
	Con hormigones de $f_{ck} \geq 400$ kp/cm ² sin que en ningún caso resulten recubrimientos inferiores a 15 mm, 20 mm o 25 mm para los casos I, II y III respectivamente	10 mm

Con respecto a las relaciones agua/cemento, el contenido mínimo de cemento y la abertura de fisura, dependientes del tipo de ambiente, la EH-91 sigue también los criterios marcados en la anterior EH-88.

En la Instrucción para el Hormigón Estructural, EHE-98 ya se consideraba la clase de exposición ambiental, tal y como se entiende actualmente (Tabla 2.5), con los recubrimientos necesarios, así como las características que debe de tener el hormigón, según el tipo de ambiente: contenido mínimo de cemento, relación agua/cemento y resistencia mínima. Para el

ambiente tipo III se presenta una diferenciación, dependiendo de la ubicación de la estructura, en: IIIa Zona Aérea, IIIb Zona Sumergida, IIIc Zona de Mareas. Ya se dispone de un apartado específico para la durabilidad de las estructuras de hormigón, donde se especifica que la estructura debe cumplir una serie de requisitos y medidas especiales de protección que mantengan la durabilidad y la vida útil de la estructura.

Tabla 2.5.

Parámetros de dosificación dependiendo de la clase de exposición, adaptada de la EHE-98 (Tabla 37.3.2.a)

Parámetros de dosificación	Tipo de Elemento	Clase de exposición													
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Q _a	Q _b	Q _c	H	F	E	
máxima relación agua/cemento	Masa	0,65	//	//	//	//	//	//	//	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50	
	Pretensado	0,60	0,60	0,55	0,50	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50	
Mínimo contenido de cemento (kg/m ³)	Masa	200	//	//	//	//	//	//	//	275	300	325	275	300	275
	Armado	250	275	300	300	325	350	325	325	325	350	350	300	325	300
	Pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	325	350	350	300	325	300

Se controla, además, la abertura de fisura, diferenciándose sus límites según el tipo de ambiente, del mismo modo que ocurría en las anteriores normas.

2.5. Las estructuras de hormigón armado en atmósfera marina

Una vez realizado un análisis del concepto de durabilidad y las clases de exposición en las normativas existentes desde los años 60, a continuación se estudia el comportamiento de las estructuras de hormigón armado dentro de atmósferas marinas. Se analizan los mecanismos de ataque al hormigón armado, los factores externos e internos que influyen en la agresividad del medio y los efectos de la corrosión sobre las armaduras.

La corrosión de las armaduras suele ser la principal causa de deterioro del hormigón armado expuesto al agua de mar (Fernández Cánovas 1994, Andrade et al. 1998). Por lo tanto, para el desarrollo de esta investigación, resulta necesario el conocimiento de los mecanismos de la corrosión y los mecanismos de ataque que la generan.

2.5.1. Concepto de salinidad y de zona de atmósfera marina

El agua de mar lleva disueltas una gran cantidad de sales, cuyo contenido suele expresarse en porcentaje en volumen, o en gr/L (también en g/Kg). En general, un agua se considera salobre, o salina, si contiene de 3 a 5 % de sal en volumen (o entre 30 y 50 g/L) (*waterencyclopedia.com 2015*). La composición del agua de mar varía en los distintos mares y océanos. El agua de mar contiene a la mayoría de los elementos químicos conocidos. No obstante, existen seis componentes, todos ellos iones, que representan alrededor del 99 % de la composición del contenido en sales de las aguas marinas. La proporción media de los iones mayoritarios presentes en el agua de mar, se recoge en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6.

Composición de solutos sólidos del agua de mar, cada uno expresado como porcentaje del total. Fuente: *waterencyclopedia.com (2015)*

Aniones		Cationes	
Cloruro (Cl ⁻)	55,29	Sodio (Na ⁺)	30,75
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	7,75	Magnesio (Mg ⁺⁺)	3,70
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	0,41	Calcio (Ca ⁺⁺)	1,18
Bromuro (Br ⁻)	0,19	Potasio (K ⁺)	1,14
Flúor (F ⁻)	0,0037	Estroncio (Sr ⁺⁺)	0,022

La unidad para medir la salinidad de un agua es, desde 1978, el PSU (escala práctica de salinidad), que define la salinidad en términos de una razón o cociente de conductividades, dada la complejidad de su composición.

Los componentes fundamentales de las sales disueltas o en suspensión son los aniones cloruro y sulfato, y los cationes sodio y magnesio; les siguen, en menor proporción, los aniones bicarbonato y bromuro, y los cationes calcio y potasio. El componente mayoritario, con diferencia, es el NaCl, que representa más del 85% de los iones presentes en el agua de mar. La relación entre los distintos cationes y aniones va a condicionar el pH del agua del mar, que oscila entre 7,5 y 8,4, y es por tanto ligeramente alcalino (*RILEM 1985*).

La durabilidad de las estructuras y los ataques que sufre el hormigón se van a ver influenciados por la salinidad del agua y por la ubicación de la estructura con respecto al mar. La atmósfera cercana a la zona costera, al producirse la evaporación del agua marina, lleva un

elevado contenido en sales, lo que se conoce como Niebla Salina (*Bermúdez de Odriozola 2007*).

En la EHE-08 (*B.O.E. 203/2008*), existe una diferenciación con respecto a la clase de exposición a ambiente marino en tres zonas: zona aérea, zona de mareas y zona sumergida. Sin embargo, según varios autores, habría que diferenciar en la zona aérea si el hormigón está o no en contacto con el agua marina. En este sentido, es posible diferenciar 4 zonas de degradación posibles en relación a la posición de la obra con respecto al mar (*Mehta 1991*), atendiendo al esquema representado en la Fig. 2.6:

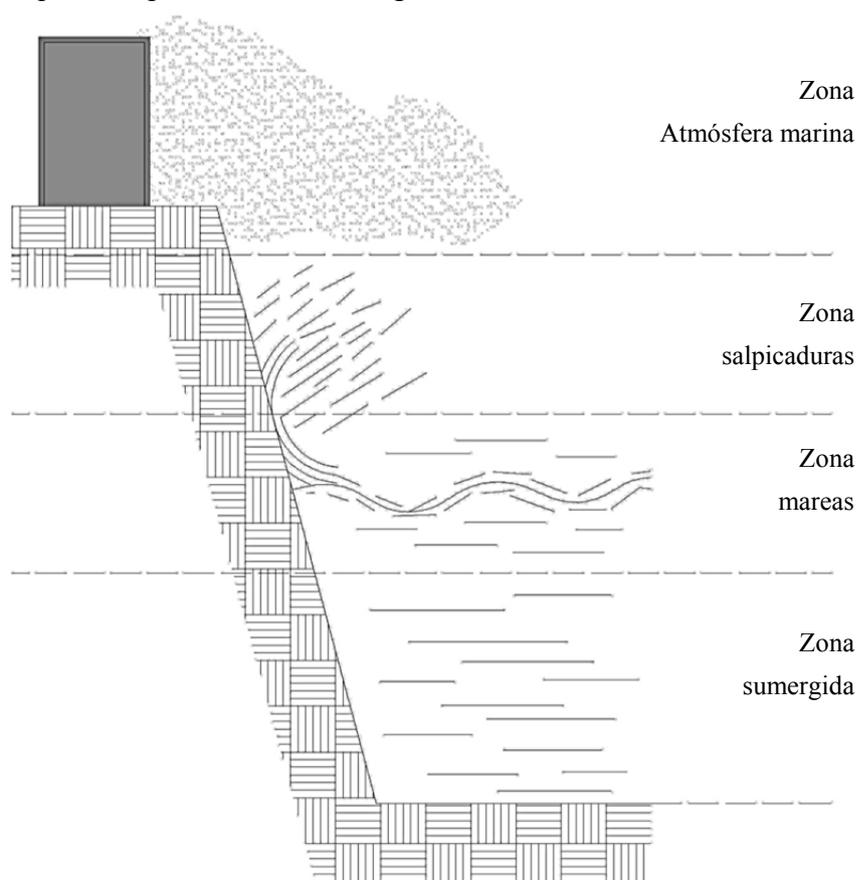


Fig. 2.6 Esquema de zonas de ambiente marino

- Zona de Atmósfera Marina: El hormigón no está en contacto directo con el medio líquido. En esta zona, el aerosol marino lleva los componentes disueltos en el aire.
- Zona de salpicaduras: Está situada por encima del nivel del mar, durante la marea alta. El agua choca contra el hormigón produciendo, además, que entre por presión en su interior.
- Zona de mareas: Definida por el intervalo de alturas determinadas por los niveles de

agua durante la marea alta y baja. En esta zona, se producen ciclos alternativos de zonas sumergidas o emergidas.

- Zona sumergida: Se sitúa por debajo del nivel de mar durante la marea baja. El hormigón se encuentra totalmente sumergido.

Para este trabajo, nos vamos a basar en la zona conocida como de Atmósfera Marina, que corresponde con la Zona Aérea en la clase de exposición IIIa descrita en la EHE-08.

En esta zona, el ataque por la acción del hielo no se tiene en cuenta debido a que no se suelen alcanzar temperaturas inferiores al punto de congelación del agua. Así mismo, las degradaciones expansivas del hormigón debido a otras causas que no sean corrosión de armaduras, como el efecto de los sulfatos o las reacciones árido-álcali, entre otras, no son objeto de esta tesis.

2.5.2. Mecanismos de ataque a las estructuras de hormigón armado por corrosión en la zona de atmósfera marina.

La corrosión se puede definir como el deterioro de un material, con alteración de sus propiedades y, en muchos casos, la destrucción por reacción química o electroquímica del material y su entorno (Uhlig 1970).

Los mecanismos de corrosión de metales se desarrollan de dos formas diferentes (ACI 222R 2002):

- Corrosión seca (química o simple oxidación)
- Corrosión húmeda (o electroquímica).

La corrosión de las armaduras de hormigón se produce mediante un mecanismo de corrosión electroquímica generado por la aparición de una diferencia de potencial entre dos zonas interconectadas. Para que el proceso de corrosión tenga continuidad, se debe mantener un circuito cerrado eléctrico, por lo que tiene que haber conexión entre la zona que se corroe (anódica) y otra que se mantiene inalterada (catódica), con la presencia de un oxidante, humedad y electrolito. Las reacciones químicas que tienen lugar en el proceso de corrosión metálica van a depender del pH del medio y de la naturaleza del agente oxidante, aunque generalmente es el oxígeno. La forma simplificada más extendida de formular el proceso de corrosión se expresa según las siguientes reacciones: Ec. (2.1) y Ec. (2.2) (ACI 222R 2002):



Siendo M un metal cualquiera que se oxida, liberando electrones que son los que permiten que se produzca la reacción de reducción o proceso catódico. Ambas reacciones transcurren simultáneamente. En un hormigón reciente o bien elaborado, las armaduras tienen una doble protección. Por una parte está la protección física que corresponde al recubrimiento que actúa impidiendo la entrada de agentes agresivos; por otra parte, una protección química debido a que el hormigón fresco tiene un pH muy básico, entre 12 y 13, (GEHO 1996, Locke 1986) que facilita la formación de una película superficial de óxido de hierro protector sobre la armadura (mecanismo conocido como protección anódica). Este estado se define como pasivo para las armaduras. Se admite que esa capa de óxido pasivante protege al acero de oxidaciones posteriores por efecto de los agentes oxidantes procedentes del medio, siempre y cuando se mantengan las condiciones que generaron su formación. Esta capa de óxido es de espesor muy pequeño, del orden de 10 μm . (BRE 1998).

En la Fig. 2.7 se aprecia el mecanismo de penetración del oxígeno en el hormigón armado, en este caso por difusión.

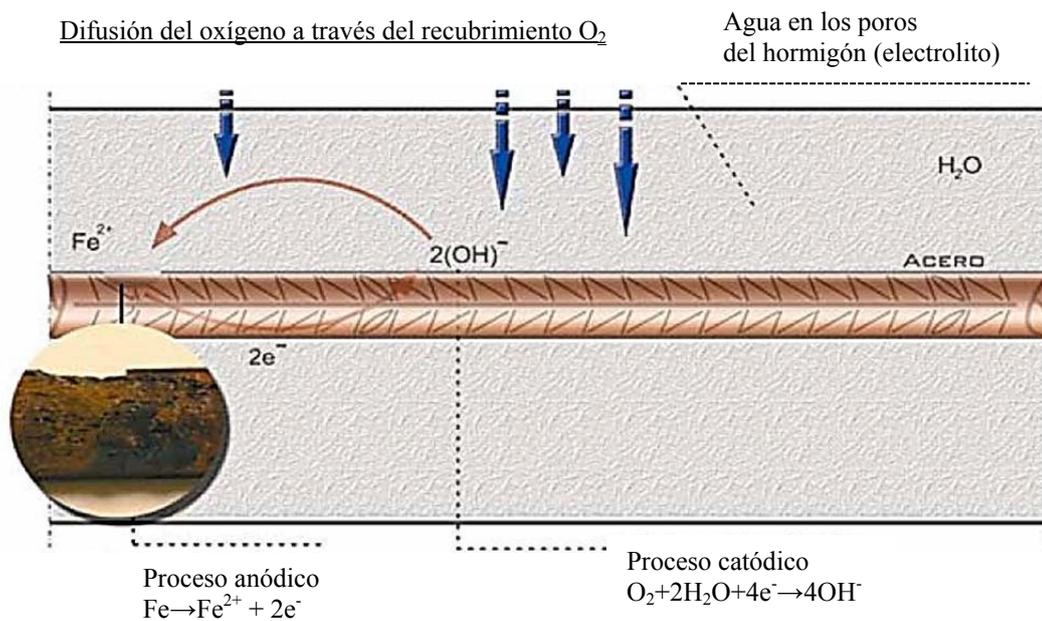


Fig. 2.7 Diagrama de difusión de O_2 (Moreno 2008)

Para que se desarrolle la corrosión de las armaduras (proceso anódico) es necesario que el acero quede directamente expuesto a la acción del oxidante, lo que conllevará a la rotura o disolución de la película protectora (Ahmad 2008). El proceso en el cual se produce la eliminación de la protección se denomina despasivación de las armaduras. En un acero pasivado, la velocidad de corrosión (disolución) es muy baja, del orden de 0,1 $\mu\text{m}/\text{año}$ (ver

Apartado 2.5.3). Al producirse la despasivación de la armadura, el acero se corroerá a una velocidad de al menos tres órdenes de magnitud mayor (*Costa et al. [1] 1999*).

La despasivación o pérdida de la capa pasiva de las armaduras de hormigón, se debe principalmente a estos factores desencadenantes (*González et al. 1984*):

- Presencia de iones despasivantes: la aparición de estos iones produce un ataque localizado en la capa pasiva, incluso en medio básico. Se rompe la capa en una zona limitada, pasando a ser el ánodo del proceso electroquímico, ya que el cátodo es toda la zona pasiva. Al ser la superficie del ánodo mucho más pequeña que la del cátodo, la velocidad de la reacción de oxidación es alta. Esencialmente se produce por la presencia de iones cloruro y se denomina corrosión localizada por picaduras.
- Carbonatación del hormigón: cuando baja el pH del hormigón, en las inmediaciones de la armadura, el medio se va transformando cada vez en más ácido. La principal reacción que disminuye el pH del hormigón es la carbonatación que corresponde a la reacción entre los componentes alcalinos presentes en el hormigón (hidróxido cálcico) y el dióxido de carbono del aire, con la formación de carbonato cálcico, que es el causante del descenso del pH por debajo de un valor crítico que se suele estimar en 9-9,5 (*Climent et al. 2008*). Este factor produce un ataque a las armaduras por corrosión generalizada.

En atmósfera marina, se dan dos condiciones: un alto contenido en sales y un grado elevado de humedad; por tanto, la corrosión de las armaduras será debida al ataque de ión cloruro o al efecto de la carbonatación, por separado o conjuntamente (*Liu et al. 2014, Alvedaño et al. 2011*).

2.5.2.1. Corrosión del acero por cloruros

El principal proceso de degradación del hormigón armado en ambiente marino es la corrosión de las armaduras por la acción de los cloruros de agua del mar (*Costa et al. [2] 1999, Angst et al. 2009*). Las picaduras generadas por el ataque de ion cloruro pueden tener una profundidad de 4 a 8 veces la penetración media de una corrosión generalizada.

En el hormigón, los cloruros pueden estar:

- Combinados: unidos química o físicamente a los componentes del cemento. Cuanto mayor sea el contenido en aluminato tricálcico (C_3A), más iones cloro son fijados químicamente por formación de cloroaluminatos cálcicos hidratados, especialmente el conocido como sal de Friedel. Los cloruros también pueden quedar adsorbidos en los silicatos cálcicos hidratados.

- Libres: son los que están en la solución de los poros del hormigón. Corresponden, en ambiente marino, a un porcentaje estimado entre 65 y 90 % de los cloruros totales (*BRE 1998*).

Los cloruros que quedan disueltos en la fase acuosa de los poros, los libres, son los que pueden producir el ataque a las armaduras. No obstante, las normativas siempre limitan el contenido de cloruros totales, porque los combinados pueden volver a la disolución por efectos como la carbonatación del hormigón (*Andrade et al. 1998*).

Los mecanismos de acceso de los cloruros a través del recubrimiento pueden ser varios: capilaridad, permeabilidad, difusión y absorción. La forma de acceso es función, sobre todo, de las condiciones del entorno (*Glass 2000, Climent et al. 2002, Angst et al. 2009*), aunque va a depender también de la estructura de la red de poros y del contenido de humedad del hormigón (*Costa et al. 1999*). Cuando existe un aporte elevado de cloruros desde el exterior, como bajo la influencia de la niebla salina (en la que se depositan sobre la superficie del hormigón -por acción del viento por condensación, etc.), la penetración de cloruros en los primeros centímetros tendrá lugar fundamentalmente por succión capilar (*Climent et al. 2002*), aunque puede haber una absorción de los mismos a través de microfisuras y poros abiertos. No obstante, el avance de los mismos hasta la armadura se produce mayoritariamente por difusión (*Costa et al. [1] 1999, González et al. 1995*).

Cuando el ión cloruro alcanza las armaduras, se produce la corrosión de las mismas, favorecida por la presencia de oxígeno y humedad accesibles desde los poros capilares de la capa de recubrimientos (Fig. 2.8).

Cuando los iones cloruro llegan a la capa pasiva de la armadura, se puede producir roturas localizadas en puntos debilitados de esta (Fig.2.9). Estos puntos débiles se generan por causas diversas, que pueden deberse a una caída de pH del hormigón, presencia de oquedades y huecos en la interfase acero-hormigón o un defecto en la superficie del acero.

Por estas roturas penetra el ión Cl^- en la película de óxido, formándose zonas anódicas localizadas. Estos ánodos están rodeados de grandes áreas catódicas de metal pasivo. Esta diferencia de tamaño forma macropilas que, unidas a las micropilas en la zona aledaña a la picadura, producen que la velocidad de corrosión aumente.

Al mismo tiempo, la formación de estos ánodos localizados crea diferencias de potencial que atraen a más iones cloruro. Los cloruros actúan como catalizadores dentro de la picadura, acelerando la corrosión del hierro en la misma (*GEHO 1996*). Si el hormigón está suficientemente húmedo (con lo que se garantiza la conexión electrolítica), la corrosión puede aparecer también en zonas donde sea difícil el acceso directo del oxígeno (*Mosquera 2011*).

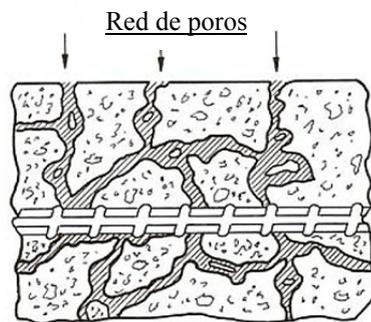
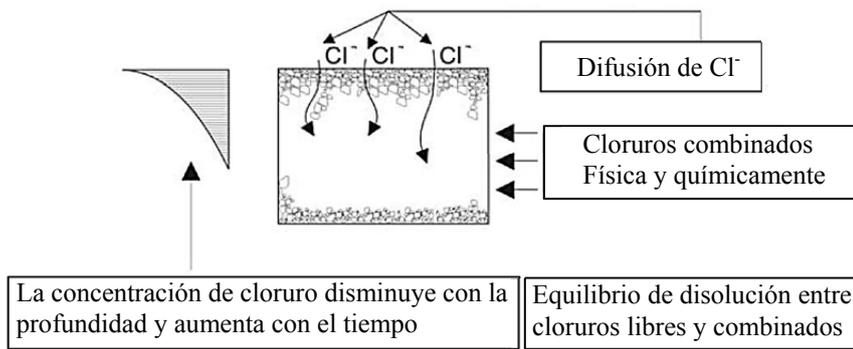


Fig. 2.8. Penetración de los cloruros por difusión y por la red de poros (Moreno 2008, González 1984)

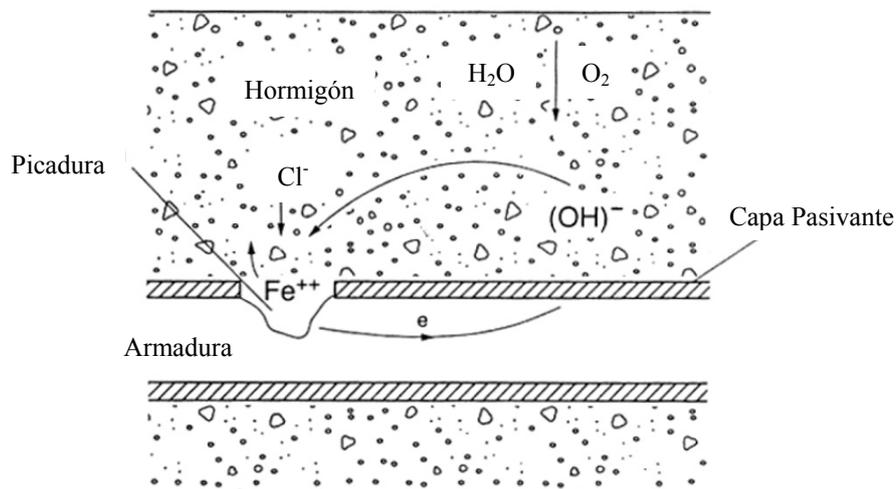


Fig. 2.9. Esquema de ataque por cloruros (Neville 1995)

Por lo comentado en los párrafos anteriores, el ataque por cloruros se produce con unas velocidades de corrosión elevadas. Para hormigones humedecidos de calidad media, el ataque por ión cloruro se produce más rápidamente que otro tipo de corrosión, como puede ser la corrosión generalizada por carbonatación del hormigón, con lo que suele ser el factor fundamental de corrosión de las armaduras en la atmósfera marina (González et al. 1996).

La corrosión de la armadura por ataque de ion cloruro en la zona de atmósfera marina va a depender fundamentalmente de tres parámetros (Mosquera 2011):

- La difusión de los mismos en el hormigón.
- El contenido crítico de cloruros.
- La concentración superficial de cloruros.

2.5.2.1.1 Difusión de cloruros en el hormigón

La difusión de cloruros se produce a través de la red porosa del hormigón por el movimiento de estos iones bajo gradientes de concentración, es decir, desde zonas de alta concentración a zonas de concentración baja. Esta difusión es más rápida y efectiva si los poros están saturados de agua ya que migran disueltos a través de la misma, como electrolito.

La difusión puede realizarse bajo condiciones de transferencia de masa constante, que se conoce como difusión estacionaria. Esta difusión se describe mediante la primera ley de Fick, recogida en la Ec. (2.3):

$$F = -D \frac{dC}{dx} \quad (2.3)$$

Donde, F es el flujo ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$), C es la concentración de las especies que se difunden, presentes a una distancia x de la superficie, y D es el coeficiente de difusión expresado en m^2/s .

En hormigón armado, y en la mayoría de casos reales, el flujo de iones depende del tiempo; en este caso recibe el nombre de difusión no estacionaria y se cuantifica mediante la segunda ley de Fick, reflejada en la Ec. (2.4):

$$C_x - C_b = (C_s - C_b) \cdot \left\{ 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right\} \quad (2.4)$$

Donde, C_x es el contenido ($\%/ \text{m}^3$) de cloruros a una profundidad x , C_s el contenido de cloruros en la superficie, C_b los cloruros iniciales (de los componentes del hormigón), D el coeficiente de difusión efectiva de cloruros (m^2/s), t el periodo de exposición (s), y erf la función de error.

El coeficiente de difusión se determina por varios procedimientos, la mayoría de ellos siguen ensayos acelerados en laboratorio (ensayos de migración). El conocimiento del coeficiente de difusión permite determinar el período de tiempo para que se alcance el contenido crítico de cloruros (EHE-08 - B.O.E. 203/2008) a partir del cual se despasivaría la armadura.

2.5.2.1.2 Contenido crítico de cloruros

El contenido crítico de cloruros se puede definir como el contenido de iones cloruro libres que inician la corrosión del acero embebido en el hormigón (*Glass et al. 1997*). Este umbral de cloruros varía en función de características intrínsecas del hormigón (pH, humedad, temperatura, tipo de cemento, contenido en C₃A, etc.) y del acero (composición, impurezas, desigualdades de la superficie, etc.) (*Castellote et al. 2002*); también depende de características extrínsecas tales como la concentración superficial y la exposición ambiental (*Glass et al. 1997*).

Es por esta razón que no existe en la bibliografía un valor fijo y exacto del mismo y en muchos casos no se especifica si el valor dado se refiere a cloruros libres o totales. Debido al procedimiento de análisis, los cloruros libres se expresan como cloruros solubles en agua; los cloruros totales se equiparan a los determinados como cloruros solubles en ácido. En la Tabla 2.7 se expone el contenido crítico de cloruros según varias normativas, adaptado de *Alaejos et al. (2008)*.

No obstante, es generalmente aceptado que en un hormigón armado no carbonatado, un porcentaje en contenido de ion cloruro total de 0,4 % en peso de cemento, o de 0,05 % en peso de hormigón, suele ser un límite fiable a partir del cual establecer un riesgo de corrosión incipiente (*GEHO 1996*). Este valor crítico puede variar dependiendo de otros factores, como se ha definido en el párrafo anterior.

Como se aprecia en la Tabla 2.7, existe una importante variación de los valores dados para el contenido crítico de cloruros solubles en ácido (totales), según las diferentes normativas, expresadas en % en peso de cemento.

Según *Alaejos et al. (2008)*, el valor del contenido crítico libres (solubles en agua) para iniciar la corrosión presenta valores más constantes (considerado en torno al 0,1 % en peso de cemento). Los valores indicados por el ACI 201, ACI 222 y BS 8110 son límites normativos y no verdaderos valores críticos de inicio de la corrosión.

2.5.2.1.3 Concentración de cloruros en la superficie del hormigón

La concentración de cloruros en la superficie del hormigón en la zona de atmósfera marina, depende de las condiciones del micro-clima donde se ubique la estructura, de la orografía de la zona y del régimen de vientos predominantes en el terreno. Así mismo, los ciclos de humectación-secado y el régimen de temperaturas influyen en esta concentración superficial.

Tabla 2.7.Contenido crítico de cloruros según diferentes normativas, adaptada de *Alaejos et al. (2008)*

	Solubles en agua	Solubles en ácido
ACI 201	0,10 a 0,15 *	-
ACI 222	-	0,20
ACI 318	0,15 a 0,30	0,20
BS 8110		0,40
Normas Australianas		0,60
RILEM		0,40
Normas Noruegas		0,60

* 0,10: ambiente húmedo expuesto a cloruros; 0,15: ambiente húmedo no expuesto a cloruros.

En la EHE-08 (*B.O.E. 203/2008*), para la estimación de la vida útil de la estructura, se plantea el contenido de cloruros en superficie (expresado en % en peso de hormigón). Este valor varía en función del tipo de ambiente y la distancia a la costa. En la Tabla 2.8 se presenta la concentración superficial de cloruros, dependiendo de la distancia a la costa reflejada en la EHE-08. Según varios autores (*Cramer et al. 2002*), en la atmósfera marina, los valores de la concentración superficial de cloruros varía a lo largo del tiempo, por lo que si se adopta un valor constante para el cálculo de los cloruros presentes en el hormigón, se obtiene un resultado bastante conservador en cuanto a la durabilidad de la estructura.

Tabla 2.8.Tabla con el contenido de cloruros en la superficie del hormigón, adaptado de la EHE-08 (*tabla A.9.4.*)

Clase general de exposición	IIIa		IIIb	IIIc
Distancia respecto a la costa	Hasta 500 m	500m-5000m	Cualquiera	
C _s (% peso de hormigón)	0,14	0,07	0,72	0,50

2.5.2.2. Carbonatación del hormigón

Si se exceptúa la corrosión por el ión cloruro, se acepta generalmente que la carbonatación del hormigón es la condición esencial para la corrosión de las armaduras embebidas en el mismo (GEHO 1996).

Los agentes atmosféricos actúan a través de la superficie del hormigón, reduciendo su alcalinidad. Los responsables de este fenómeno son el dióxido de azufre (SO₂) y, sobre todo, el dióxido de carbono (CO₂) (Gállego Estévez 1998).

La portlandita o hidróxido cálcico Ca(OH)₂ presente en el hormigón, procedente de la hidratación de los silicatos cálcicos hidratados del cemento portland, es la principal causante de la alta basicidad del hormigón, fijando el pH entre 12,5 y 13,5 (González et al. 1996). En estas condiciones, el acero embebido en el hormigón se encuentra protegido, como se ha comentado en el apartado anterior.

Sin embargo, la estructura porosa del hormigón donde está depositado el Ca(OH)₂, permite la entrada de dióxido de carbono del aire (para que haya difusión, los poros deben de estar llenos del mismo). Cuando esto sucede, se produce la reacción del CO₂ con el hidróxido cálcico, carbonatándose el hormigón, según la Ec. (2.5):



El consumo de portlandita, ocasiona que el pH baje desde 13,5 hasta 9 (Climent et al. 2008). Con estos valores de pH, el hormigón ya no ejerce su efecto protector sobre las armaduras, pasando a ser atacables (ACI 222R 2002). Este ataque se origina en toda la zona donde se ha producido el descenso del pH, con lo que desencadena una corrosión generalizada. No obstante, en determinadas condiciones, el CaCO₃ formado puede sellar determinados poros, dificultando el avance de la carbonatación a través del recubrimiento.

La carbonatación puede producirse para concentraciones de CO₂ en el aire muy bajas, del orden de 0,03 % en volumen. El desarrollo de la misma depende de varios factores como pueden ser: contenido de CO₂ de la atmósfera, el porcentaje de humedad en el ambiente, permeabilidad del hormigón, cantidad de portlandita, contenido y tipo de cemento, etc.

La humedad relativa (HR) del ambiente es un factor importante. Se estima que, para unos valores de HR entre el 60% y 75% es cuando la velocidad de carbonatación es mayor. Para valores bajos de HR, el oxígeno es el que se difunde principalmente por los poros ya que es más ligero. Lo mismo ocurre con ambientes saturados de agua, ya que si los poros están saturados, es más difícil que penetre el CO₂. En la zona de atmósfera marina, la humedad

suele ser alta, no llegando a la saturación, por lo que en esta zona el riesgo de carbonatación es bastante elevado. La Fig. 2.10 representa la relación entre la profundidad de carbonatación y el tiempo, en diferentes ambientes.

Debido a que la difusión del CO₂ se produce a través de los poros, el volumen de los mismos adquiere una importancia crucial en esta difusión. Puede decirse que, generalmente, la porosidad del hormigón es el factor básico para la carbonatación (*Molina et al. 1985*). Como es bien sabido, esta porosidad está directamente relacionada con la relación agua/cemento del hormigón utilizado, por lo que, unas relaciones agua/cemento altas influyen de manera significativa en la carbonatación.

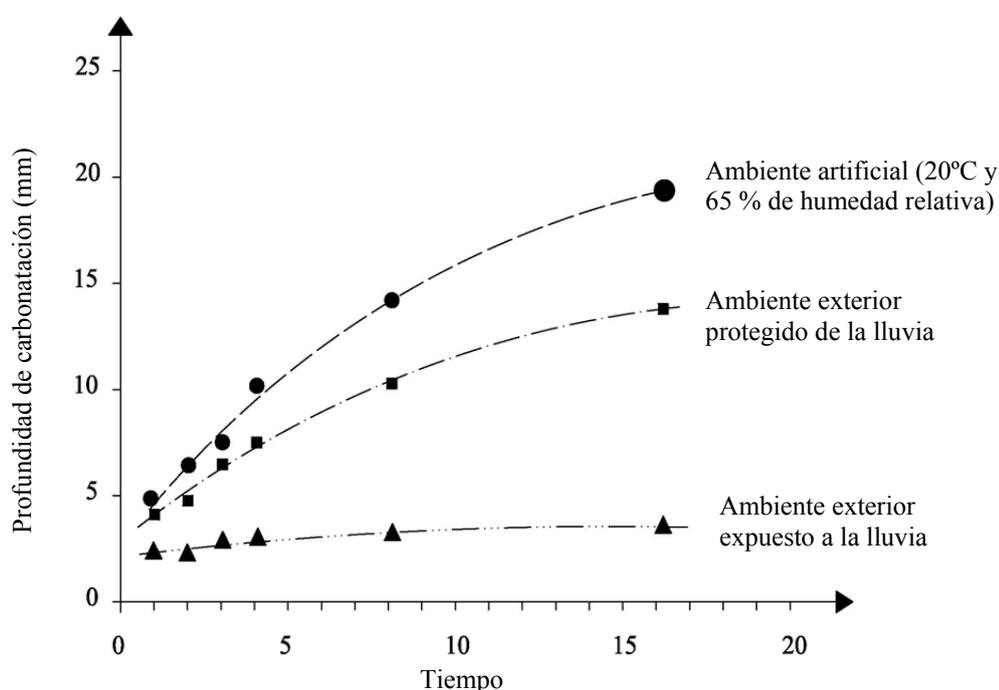


Fig. 2.10 Influencia del ambiente en la carbonatación, adaptada de *Moragues (2011)*

La velocidad de la reacción de carbonatación puede considerarse que sigue un modelo parabólico (Fig.2.11) donde la profundidad del frente carbonatado es función de la raíz cuadrada del tiempo, como se aprecia en la Ec. (2.6)

$$X = K \sqrt{t} \quad (2.6)$$

Donde X es el espesor de la capa carbonatada, t el tiempo de exposición y K es el coeficiente de carbonatación. Cuando X sea igual al espesor del recubrimiento, se podrá producir la despasivación de las armaduras y por tanto la corrosión de las mismas.

El valor del coeficiente de carbonatación se puede obtener mediante el modelo experimental de Häkkinen (1993) (Gálligo 1998), a partir de la Ec. (2.7)

$$K = c_{env} \times c_{air} \times a \times f_{cm}^b \quad (2.7)$$

Esta fórmula es la propuesta para el cálculo del coeficiente de carbonatación en la EHE-08 (B.O.E. 203/2008).

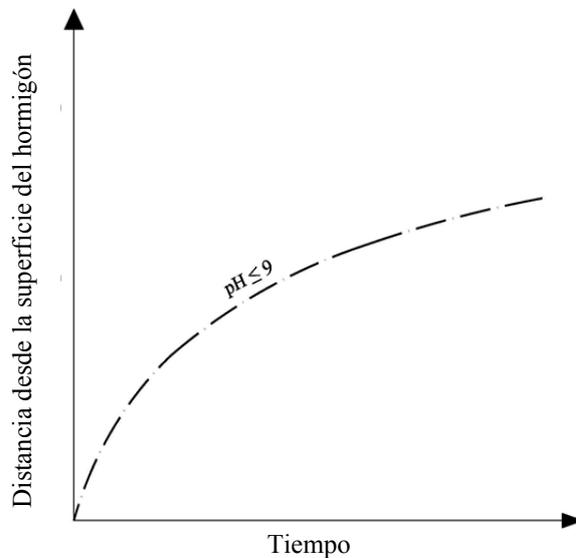


Fig. 2.11. Grafica de velocidad de reacción de carbonatación, adaptada del BRE (1998)

Siendo c_{env} el coeficiente ambiental donde se ubica el hormigón, c_{air} un coeficiente en función del contenido de aire en el hormigón, $f_{cm} = f_{ck} + 8$ en N/mm^2 , y a y b son parámetros dependientes del tipo de conglomerante.

Según el modelo definido, los valores de K dependen, en gran medida, de la calidad del hormigón. Bentur et al. (1997) señala que, para hormigones considerados de buena calidad en condiciones ambientales normales, los valores del coeficiente de carbonatación están entre 0,25 y 1,0 $mm/año^{-0.5}$. Para hormigones con una resistencia característica a compresión de 17,5 MPa, que era la más usada hasta la aparición de la Instrucción EH-91 (Cobo 2001), en ambiente expuesto y con un volumen de aire ocluido mayor de 4,5 %, con conglomerante cemento portland, el valor de K aplicando los coeficientes de la Instrucción EHE-08 es de 2,55 $mm/año^{-0.5}$. Valores de K menores, supone que la carbonatación llega hasta 26 mm en hormigones en ambientes húmedos, al cabo de 75 años. Este valor es superior al valor del recubrimiento mínimo para ambientes tipo II que figura en la EHE, aunque inferior a los 35 mm para ambiente tipo IIIa, correspondiente a atmósfera marina.

Como hemos visto en el punto anterior, la carbonatación por CO_2 penetra en el hormigón

como un frente procedente de la superficie expuesta a la atmósfera, pero no es perjudicial para el hormigón hasta que llega a la armadura, incluso puede incrementar ligeramente la resistencia mecánica del mismo, al contribuir a la disminución de la porosidad.

No obstante, y como algunos autores indican (*Molina et al. 1985, Rodríguez et al. 1993*), la carbonatación, y su efecto en el hormigón, no es causa suficiente para que se produzca la corrosión de las armaduras. En ambiente interior seco no se producen, en general, niveles de oxidación elevados en las armaduras, aunque el hormigón esté carbonatado.

2.5.2.3. Influencia de la carbonatación del hormigón en la corrosión por ion cloruro

Si además del ataque por cloruros existe carbonatación del hormigón de recubrimiento, la velocidad de corrosión aumenta y el valor crítico de cloruros requerido para la despasivación del acero disminuye. La instrucción EHE-08 (*B.O.E. 203/2008*) destaca que, en el caso de humedades relativas medias y con fases de humectación/desecación, es conveniente reducir los límites de concentración crítica si el hormigón está carbonatado.

Liu et al. (2014) estudiaron el fenómeno de la corrosión por ion cloruro en un hormigón carbonatado. Según este trabajo y el de otros autores (*Moreno et al. 2004*) la resistencia a la corrosión del acero en el hormigón armado por ataque de ion cloruro está muy afectada por el grado de carbonatación del mismo. En este sentido, los trabajos realizados exponen los efectos beneficiosos que produce una alta alcalinidad del hormigón en la corrosión producida por la presencia de iones cloruro. Los resultados obtenidos muestran que un hormigón no carbonatado o con una carbonatación débil, presenta una resistencia mayor al ataque de cloruros que un hormigón carbonatado.

Una estimación del contenido crítico de cloruros en función de las condiciones de humedad relativa y de si está carbonatado o no, se muestra en la Fig. 2.12:

2.5.3. Velocidad de corrosión de las armaduras en ambiente marino

En ambiente marino, el tipo y la severidad del daño pueden no ser uniformes a lo largo de la estructura (*Bermúdez de Odrizola 2007*). La severidad del ataque por cloruros que penetran por difusión, no sólo depende de la cantidad de iones que alcanzan la superficie de la armadura, sino, además, de la velocidad con que se produce la corrosión localizada en ésta.

La velocidad de corrosión de las áreas anódicas de una superficie metálica es proporcional a la corriente de corrosión, de ahí que se pueda definir como la pérdida de metal por unidad de superficie y tiempo. A partir de la Ley de Faraday se establece la cantidad de metal uniformemente corroído de un ánodo durante un período de tiempo según la Ec. (2.8):

$$W = \frac{I t M}{n F} \quad (2.8)$$

Donde W es la pérdida de metal corroído en un tiempo t dado en segundos, I es la intensidad de corriente en amperios, M la masa molar del metal en g/mol, n el número de electrones/átomo producidos o consumidos en el proceso y F la constante de Faraday, que equivale a 96.500 C/mol o 96.500 A.s/mol

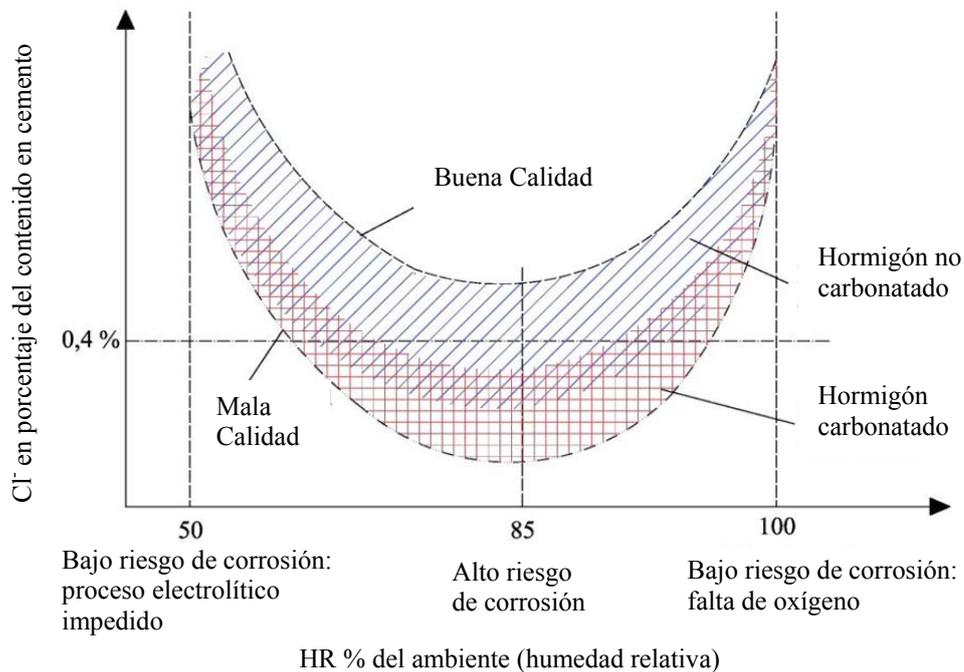


Fig. 2.12 Contenido crítico de cloruros dependiendo de la HR, adaptado del CEB (1996)

Se puede definir la velocidad de penetración por corrosión (V_{corr}) en función de la intensidad de corriente Ec. (2.9), basándonos en la ley de Faraday:

$$V_{corr} = K \frac{(i_{corr} \cdot M)}{nd} \quad (2.9)$$

Donde i_{corr} es la densidad de corriente/corrosión en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ($=I/A$, siendo A el área en cm^2), M la masa molar del metal en g/mol, n el número de electrones y d la densidad en g/cm^3 .

Considerando que, según la Ley de Faraday, $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ equivale a una penetración de $11,6 \mu\text{m}/\text{año}$ para el caso del acero, i_{corr} mayores que este umbral reducirán drásticamente la durabilidad de la estructura si se mantiene por períodos prolongados de tiempo (Miranda et al. 2007). En este sentido, la exposición a ambientes agresivos y contaminados con iones

despasivantes, producen un aumento de la velocidad de corrosión. Como ya se ha indicado anteriormente, en un acero pasivado, la velocidad de corrosión es muy baja, del orden de 0,1 $\mu\text{m/año}$. En cambio, al producirse la despasivación de la armadura, el acero se corroerá a una velocidad de al menos tres órdenes de magnitud mayor (*Costa et al. [1] 1999*). Hay que tener en cuenta que en la corrosión por picaduras, como la que produce un ataque por cloruros, la densidad de corriente en la picadura se multiplica, por lo que el daño por pérdida de sección local en la armadura puede ser importante.

Existe una relación directa entre la intensidad de corrosión y la resistividad del hormigón. Cuando la armadura permanece en el estado pasivo, la velocidad de corrosión es prácticamente independiente de la resistividad del material de construcción, es decir, de la modificación del entorno en el que se encuentra (*Molina et al. 1985*). Una vez que se destruye la capa pasiva del acero, el ritmo de corrosión viene definido por la resistividad del material y la disponibilidad de oxígeno (*Mehta 1991*).

2.5.4. Factores externos que influyen en la velocidad de corrosión de las armaduras en ambiente marino

En los apartados anteriores se ha visto como los ataques al hormigón en atmósfera marina son, mayoritariamente, los producidos por la carbonatación y la presencia de ión cloruro, por separado o conjuntamente. El ataque por ion cloruro se produce más rápidamente, con lo que suele ser el factor clave en la corrosión de las armaduras en la zona de atmósfera marina. Además, la velocidad de corrosión depende, en gran medida, de la exposición, del ambiente y de la humedad presente en los poros.

Uno de los factores más importantes para la difusión de cloruros en el hormigón es la concentración superficial. Esta concentración, como se ha visto en los apartados anteriores, depende de la exposición ambiental. La exposición ambiental depende, a su vez, de la distancia a la línea de costa, de la velocidad del viento, de la humedad relativa, temperatura del ambiente, y la situación en altura del elemento estudiado.

2.5.4.1. Efecto de la distancia a la línea de costa, del régimen de vientos, de la orografía y los obstáculos presentes en el terreno.

En atmósfera marina, el depósito de partículas salinas sobre la superficie del hormigón acelera el proceso de difusión de cloruros en su interior, con lo que aumenta la posibilidad de corrosión de la armadura. Este depósito depende de la salinidad de la brisa marina (Fig. 2.13).

La salinidad en el aire, presente en la niebla salina, depende de la distancia al mar, decreciendo rápidamente tierra adentro. *Chico et al. (1998)* muestran que existe un

decrecimiento rápido de la salinidad conforme nos alejamos de la costa unos cientos de metros, para después decrecer de un modo más paulatino hasta unos valores por debajo de 10 mg/m² día, a una distancia de 10 km (Mats et al. 1996). Meira et al. (2002) demostraron que existe una reducción del contenido de la concentración de cloruros y, por consiguiente, del aerosol marino, a partir de 200 metros de la costa, siendo a los 100 metros cuando cambia la pendiente de la curva, produciéndose un decrecimiento importante en la concentración (Fig. 2.14).

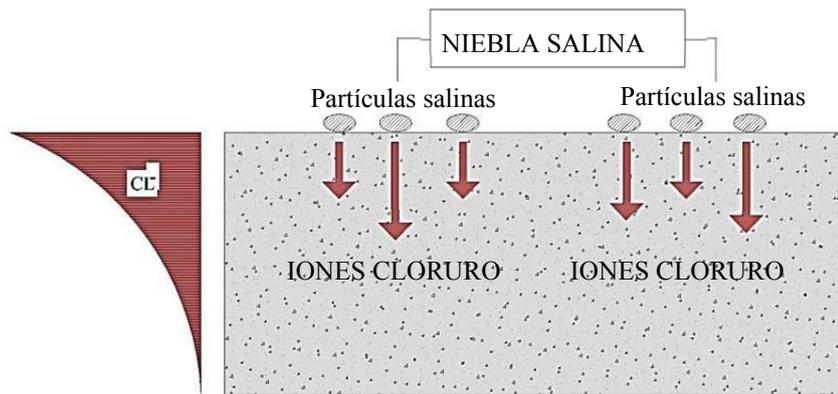


Fig. 2.13. Esquema del proceso de difusión de cloruros por depósito de partículas

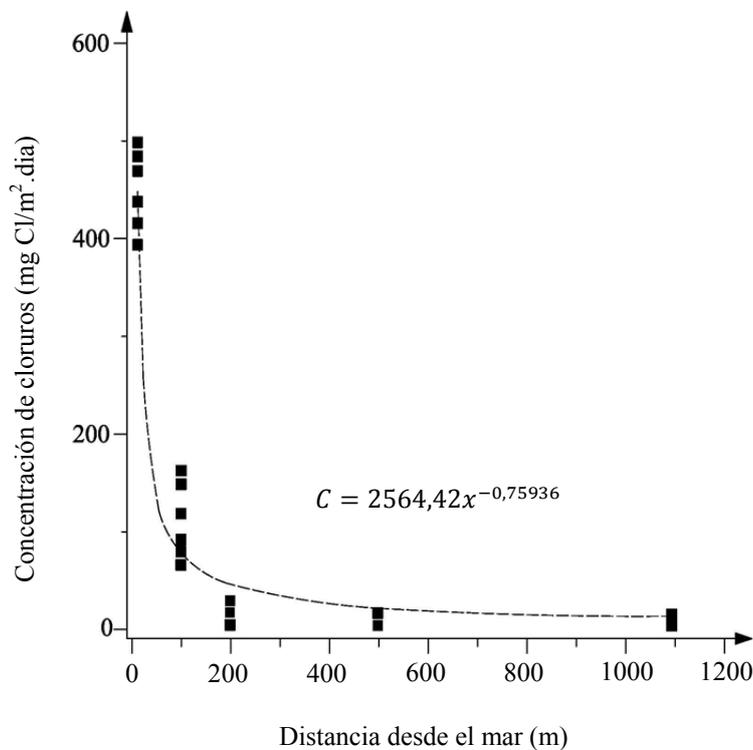


Fig. 2.14. Reducción de la concentración de cloruros dependiendo de la distancia a la costa, adaptado de Meira et al. (2002)

Por otro lado, la distancia al mar no es siempre, por sí misma, el factor determinante en la cantidad de partículas salinas sobre la superficie del hormigón, ya que depende también de la orografía de la zona y la velocidad e intensidad de los vientos dominantes. La orografía de la costa tiene un papel fundamental en la exposición al ambiente salino (*Mats et al. 1996*), ya que el efecto pantalla que pueden provocar las elevaciones montañosas cercanas a la línea costera favorece la protección contra ciertos vientos y la velocidad de los mismos.

La presencia de obstáculos también tiene una influencia significativa en la salinidad del aire (*Mats et al. 1996*). A este respecto, las localidades con una aglomeración importante de edificaciones pueden realizar el efecto de pantalla, con lo que se produce una acción de concentración del aerosol salino en los primeros frentes, protegiendo a los edificios que se sitúan detrás. En la Fig. 2.15 se representa un esquema de este efecto.

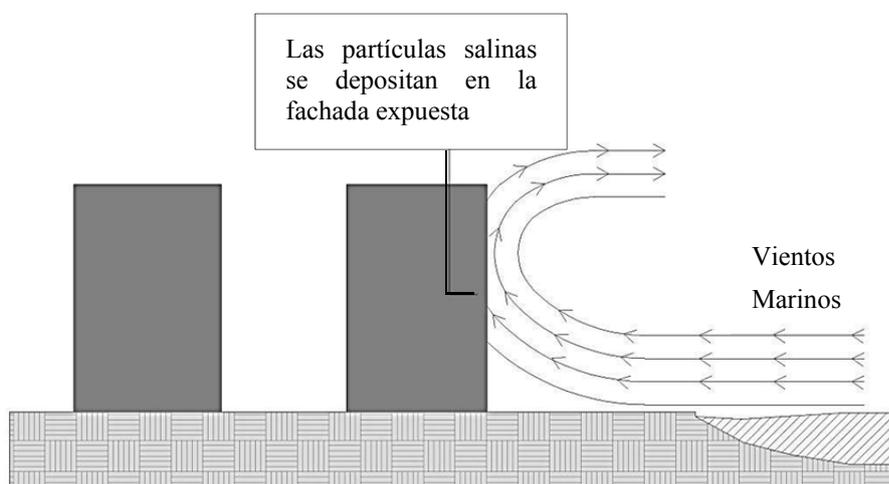


Fig. 2.15 Esquema del efecto apantallamiento de los obstáculos

En un estudio realizado por *Morcillo et al. (2000)* en la costa de Tarragona, se estima la salinidad atmosférica únicamente analizando la información acerca de los vientos existentes en las bases de datos meteorológicos. En este mismo estudio se ha revelado que hay ciertas direcciones en los vientos principales que parecen ser los que más contribuyen a la penetración del aerosol marino hacia el interior.

Con relación a la velocidad del viento, varios estudios demuestran que, a una velocidad mayor de 3 m/s (10,8 Km/h), el fenómeno de la formación de la niebla salina empieza a ser significativo (*Morcillo et al. 2000, Fitzgerald 1991*). Así mismo, se produce un aumento de la concentración de sales con el incremento de velocidad de los vientos. La Fig. 2.16 representa el nivel de salinidad y la velocidad del viento ENE, que es una de las direcciones que provienen del mar. Como se aprecia en la Fig. 2.16 existe una alta concentración salina cuando aumenta la velocidad del viento en la dirección del mar (*Morcillo et al. 2000*).

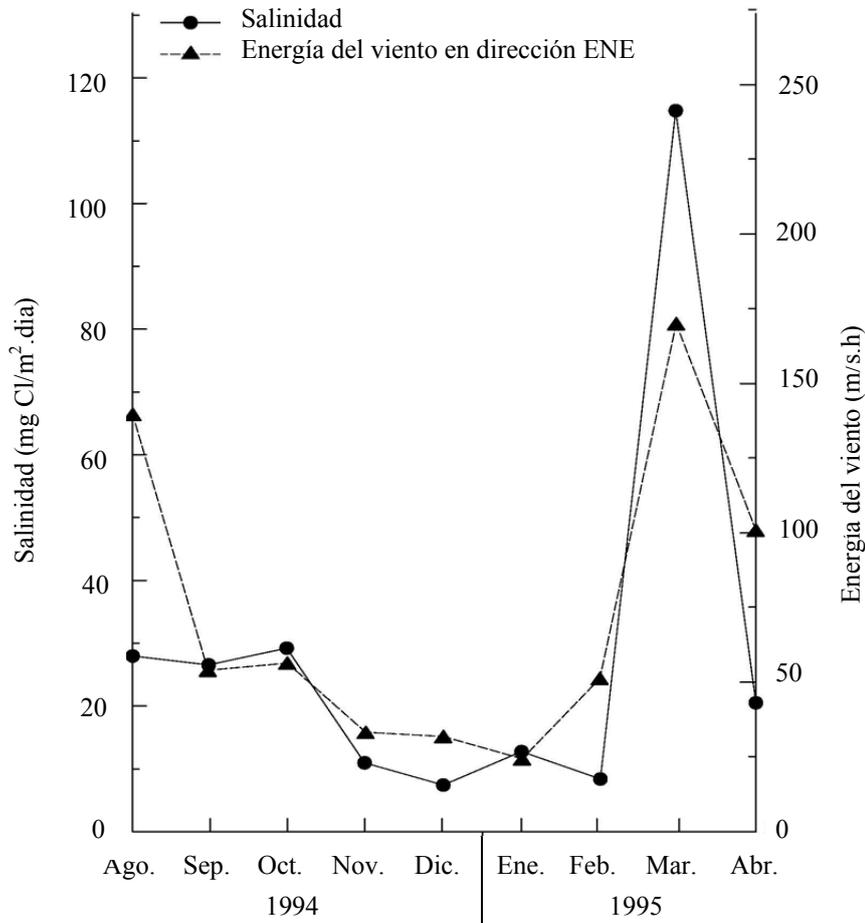


Fig. 2.16 Relación entre la salinidad y el régimen de viento, adaptada de *Morcillo et al.* (2000)

La distribución vertical del aerosol marino sufre una fuerte influencia del efecto de la gravedad, quedando las partículas menos pesadas (p.e. las que contienen iones cloruro) a mayor altura. (*Mats et al.* 1996).

2.5.4.2. Influencia de la temperatura, la humedad relativa y el ciclo de humectación-secado de las estructuras en la corrosión de las armaduras

En atmósferas suficientemente secas, la resistividad del hormigón puede suponer un impedimento a la corrosión, comparable al representado por las capas pasivantes (*Molina et al.* 1985). La humedad relativa ambiental en la zona de atmósfera marina condiciona mucho la resistividad del hormigón, con lo que tiene una influencia decisiva en la velocidad de corrosión. Como algunos autores demuestran (*Molina et al.* 1985, *Sandberg* 1998), cuando se rompe la pasividad de las armaduras por presencia de ión cloruro, es la resistividad del hormigón, y no el acceso del oxígeno por difusión hasta la superficie del acero, el parámetro que parece controlar la cinética de la corrosión. El contenido de humedad de los poros pasa a desempeñar un papel fundamental, pasando a ser la variable que más influye en la resistividad

del medio (*Sandberg et al. 1998*).

Cuando el acero se despasiva, la velocidad de corrosión depende, además, de la cantidad de cloruros, de la presencia de macropilas, del contenido en oxígeno y de la humedad contenida en los poros de hormigón. En estructuras expuestas a la atmósfera marina, la humedad del hormigón dependerá no solo de la humedad relativa del ambiente, sino también de las variaciones de temperatura que se producen en el microclima de la superficie del hormigón con los ciclos día-noche y estacionarios (*Medeiros et al. 2013*).

A partir de los estudios llevados a cabo por *Andrade et al. (1998)*, en los que se experimentó con probetas cilíndricas de hormigón expuestas a temperaturas y humedades ambientales, se confirma el hecho de que cuando la temperatura aumenta, se produce un descenso en la solubilidad del Ca(OH)_2 con el consiguiente descenso del pH y aumento de la relación Cl^-/OH^- . Así mismo, la presencia de oxígeno dentro de la probeta disminuye cuando aumenta la temperatura y se produce un descenso de la humedad dentro de los poros. Por debajo de 10°C , la i_{corr} disminuye con la temperatura. Sin embargo, entre 10°C y 25°C casi no varía. En la Fig. 2.17 se representa la variación de i_{corr} con la temperatura en el estudio realizado por *Andrade et al. (1998)*.

El contenido de agua en los poros del hormigón depende de la humedad relativa, y ésta, a su vez, del ciclo húmedo-seco del ambiente. En el estudio del comportamiento de una estructura real expuesta al ambiente marino durante 40 años (*Medeiros et al. 2013*), se comprobó que los ciclos de humectación-secado a los que está sometida la estructura influyen en el contenido de ión cloruro en la misma y que el régimen de precipitaciones es determinante para estos ciclos. Se han recogido altos niveles de salinidad atmosférica como resultado de tormentas que, a pesar de su corta duración, depositaron grandes cantidades de sal (*Morcillo et al. 2000*).

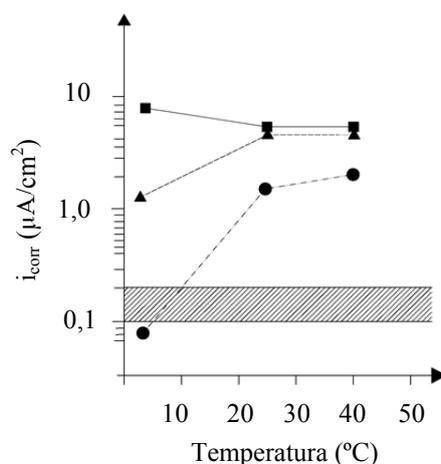


Fig. 2.17. Variación de la intensidad de corrosión con la temperatura adaptado de *Andrade et al. (1998)*

2.5.5. Factores internos del hormigón que tienen repercusión en la corrosión de las armaduras.

Tal y como queda de manifiesto en la bibliografía existente, la accesibilidad de los agentes agresivos a la armadura es el factor fundamental para que una estructura de hormigón armado sea durable (González *et al.* 1984, Molina *et al.* 1985). Las condiciones para permitir esa accesibilidad son la resistividad del hormigón, la permeabilidad del mismo y la porosidad, estando los tres parámetros correlacionados.

2.5.5.1. Resistividad del hormigón

Ya se ha indicado con anterioridad que la velocidad de corrosión de las armaduras depende, en gran medida, de la resistividad del hormigón.

Como postulan Cheng *et al.* (2008) una resistividad eléctrica alta, en un hormigón de calidad, restringe la corrosión de las armaduras, reduciendo el flujo de corriente entre ánodo y cátodo.

La resistividad del hormigón varía dentro de un rango bastante amplio, desde $10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ para materiales secados al horno, hasta menos de $10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ para hormigones bastante húmedos (López *et al.* 1993). No hay un acuerdo general acerca de un umbral de resistividad por encima del cual el riesgo de corrosión pueda ser despreciable. Sin embargo, según Hope *et al.* (1985), armaduras embebidas en hormigón con una resistividad mayor que $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ y aun con la presencia de iones despasivantes u oxígeno, el proceso de corrosión es ínfimo (Hope *et al.* 1985).

La resistividad del hormigón está íntimamente relacionada con el grado de saturación de los poros. Así mismo, está relacionada con el grado de hidratación del cemento y la presencia de sales disueltas en la fase acuosa del hormigón (López *et al.* 1993).

2.5.5.2. Permeabilidad del hormigón

La permeabilidad es un factor clave en la durabilidad del hormigón, sobre todo en el ambiente de atmósfera marina. La permeabilidad está relacionada con el volumen de poros del hormigón y su grado de saturación. La permeabilidad es la que controla fundamentalmente la velocidad de acceso del oxígeno, del CO_2 y de los iones despasivantes. Así mismo, el grado de saturación existente en los poros del hormigón tiene un efecto importante en la cinética de la corrosión. En este sentido, una buena dosificación, un buen curado y un recubrimiento adecuado son los factores que determinan la impermeabilidad del hormigón.

2.5.5.3. Relación agua/cemento

La relación agua/cemento (A/C) condiciona la permeabilidad del hormigón. Diversas fuentes vinculan la relación A/C con el contenido de iones despasivantes en los poros del hormigón en ambiente marino. *Sandberg et al. (1998)*, expone la evolución de la penetración de cloruros en función de la relación A/C. *Carvajal et al. (2004)* analizan la variación del efecto de los cloruros dependiendo del cemento y de la relación A/C.

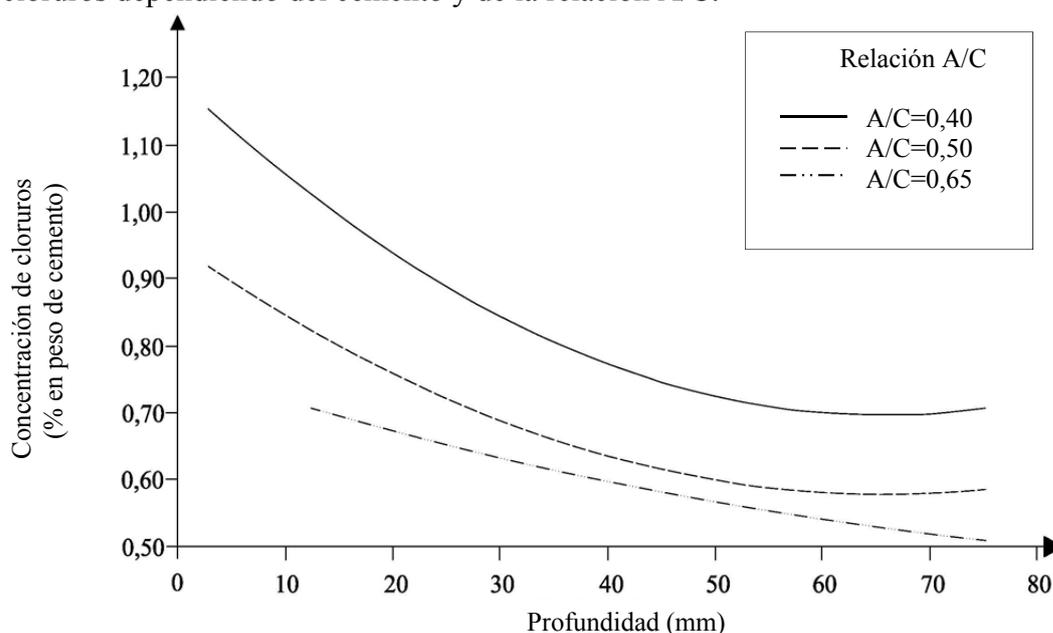


Fig. 2.18 Variación de la concentración de ion cloruro a través de la profundidad del recubrimiento, con respecto a hormigones con diferente relación A/C, adaptado de *Bader (2003)*

La Fig. 2.18 muestra la variación de la concentración de cloruros a través de la profundidad del recubrimiento, en hormigones con diferente relación A/C (*Bader 2003*). En esta figura se observa que la concentración superficial de cloruros, respecto al peso de cemento, es mayor en el hormigón con menor relación A/C lo cual puede deberse al mayor contenido en cemento de esta mezcla.

2.5.5.4. Recubrimiento de las armaduras

El recubrimiento es un factor fundamental para la durabilidad del hormigón en ambientes de atmósfera marina. La impermeabilidad del recubrimiento influye mucho en la accesibilidad de los agentes agresivos. Una estructura porosa y la presencia de microfisuras hacen posible el ingreso de iones despasivantes como, por ejemplo, el ion cloruro. Por tanto, el recubrimiento debe ser de buena calidad, entendiéndose como tal a un recubrimiento formado por un hormigón con una buena impermeabilidad y que disponga de un espesor adecuado. La Fig. 2.19

relaciona la calidad del recubrimiento (a partir de la relación A/C del hormigón, con el acceso de oxígeno). En ella se puede apreciar que, tanto la calidad del hormigón (relación A/C), como el espesor del recubrimiento, influyen en el flujo de oxígeno en el interior del hormigón.

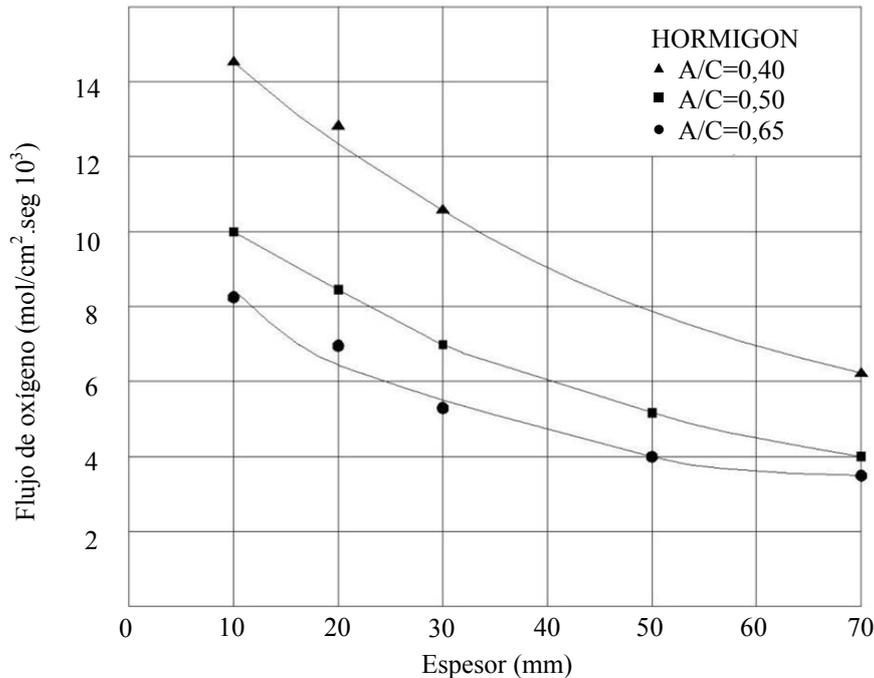


Fig. 2.19. Efecto de la calidad del recubrimiento estudiado a través de la relación A/C en la difusión del oxígeno, adaptado de *Molina et al. (1995)*

El espesor y la calidad del recubrimiento influyen además sobre el ingreso del ion cloruro por las fisuras del hormigón. Ensayos realizados muestran que la anchura de fisura no influye significativamente sobre la velocidad de corrosión si el recubrimiento es de buena calidad y, por tanto, el daño por corrosión es pequeño (*Andrade et al. 2010*). No obstante, según *Pettersson (1992)*, si las fisuras son mayores de 0,4 mm, el aumento del espesor del recubrimiento no logra resultados satisfactorios. En la Fig. 2.20 se puede apreciar cómo aumenta la concentración total de cloruros cuando aumenta la anchura de la fisura.

Además de la relación A/C y el espesor del recubrimiento, el curado determina, en gran medida, la calidad del hormigón del recubrimiento. Tal y como se aprecia en la Fig 2.21 extraída de estudio realizado por *Bader (2003)*, el tiempo de curado condiciona el acceso de los iones despasivantes.

2.5.5.5. Cemento utilizado y contenido mínimo

La cantidad total de CO₂ necesaria para carbonatar el hormigón dependerá de la cantidad de

productos alcalinos de que disponga el cemento. Estos productos alcalinos, que son fruto de la hidratación del cemento, dependen del tipo de cemento.

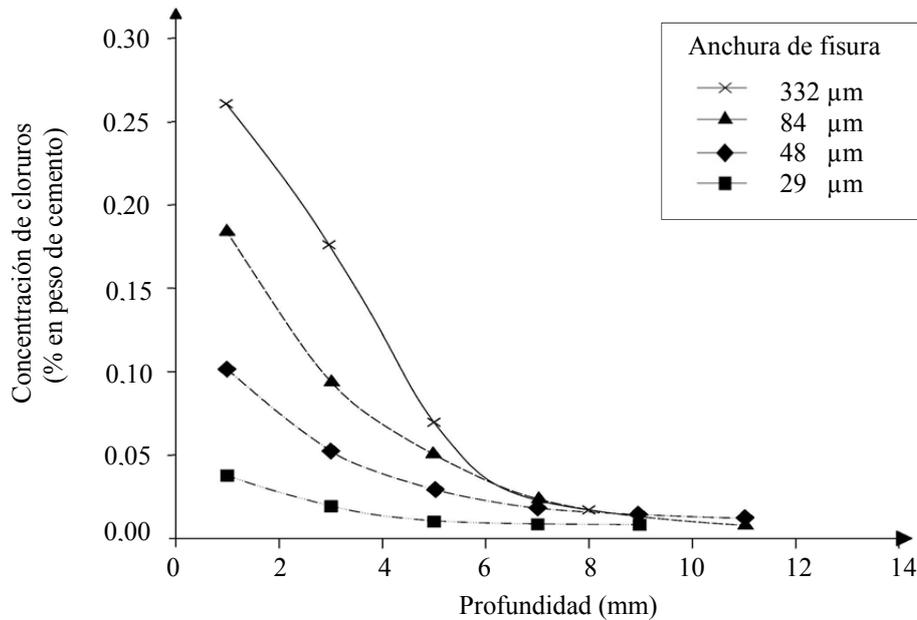


Fig. 2.20. [Cl⁻] en función de la profundidad y la anchura de fisura, adaptado de *Ismail et al. (2008)*

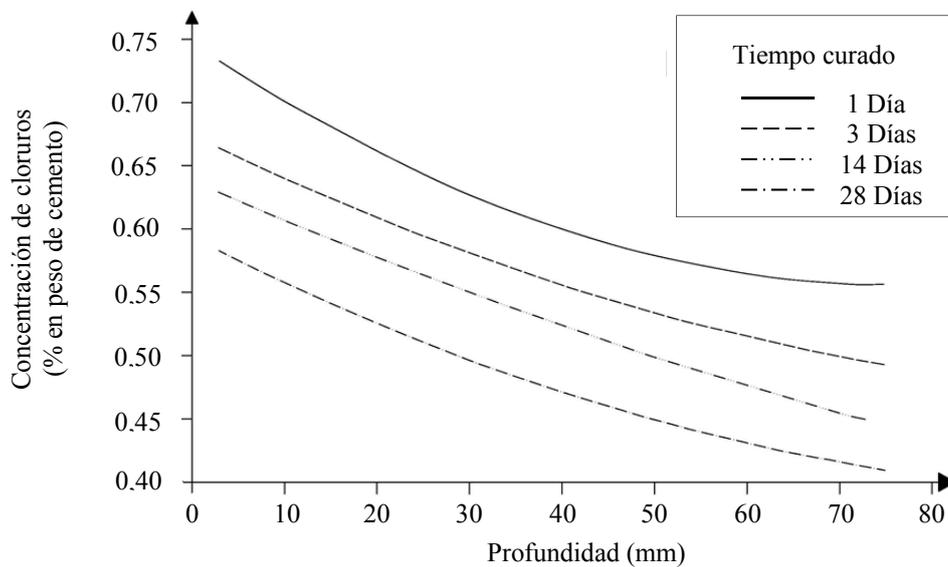


Fig. 2.21. Influencia del curado en la concentración de cloruros, adaptado de *Bader (2003)*

Una alta concentración de iones cloruro puede producir modificaciones en la pasta de cemento. La capacidad de fijación de iones cloruro que dispone el cemento usado para la

realización del hormigón armado, está relacionada con el volumen de productos hidratados de los silicatos y aluminatos cálcicos: C_2S , C_3S y C_3A , fundamentalmente, presentes en el clinker. Una parte de los cloruros se fija físicamente a los silicatos cálcicos hidratados (CSH), otra se combina químicamente con el aluminato tricálcico hidratado (C_3AH_6), produciendo cloroaluminatos cálcicos hidratados, especialmente la sal de Friedel. Sin embargo, estas modificaciones sobre la pasta de cemento, con elevado contenido en Cl^- no afectan prácticamente a las propiedades mecánicas del hormigón; su efecto sobre el mismo es ligero comparado con la acción que producen los cloruros sobre las armaduras (*Mather 1966*).

El cemento portland sin adiciones es el que proporciona mayor cantidad de “reserva alcalina”, ya que la portlandita que se genera en el proceso de hidratación de los silicatos cálcicos del cemento no reacciona con ninguna adición, quedándose libre, con lo el hormigón se mantiene en un estado de basicidad elevada, protegiendo al acero de la acción de los agentes agresivos. Sin embargo, en los hormigones con adiciones puzolánicas, si se asegura un buen endurecimiento mediante un adecuado curado, se puede alcanzar mayor impermeabilidad que en los hormigones realizados con cemento portland exclusivamente, lo que hace que el agente agresivo tarde más tiempo en llegar a la armadura.

Al incrementar el contenido en cemento en el hormigón, se aumenta la capacidad de fijación del mismo frente a los agentes agresivos, como son el CO_2 y el Cl^- . Normalmente, un contenido de cemento en torno a 300 kg/m^3 es suficiente para conseguir una baja permeabilidad en el hormigón a estos agentes agresivos (*RILEM 1985*), si el resto de factores acompañan.

Entre los años 60-70, en el litoral valenciano se utilizó, en un número significativo de edificaciones, el cemento aluminoso (cemento de aluminato de calcio), sobre todo en la zona Norte de Castellón y Alicante, coincidiendo con una época de boom inmobiliario. Este cemento presenta unas elevadas resistencias mecánicas a tiempos cortos, alcanzándose, en unos días, la misma resistencia que, con un cemento portland, se alcanzaría en un mes (*CEB 1992*). El cemento aluminoso presenta un endurecimiento rápido, permitiendo un desencofrado a las 4-5 horas y una puesta en obra en menos de 12 horas. Por estas propiedades, se utilizó fundamentalmente en la fabricación de viguetas de pretensado. Este cemento está formado, mayoritariamente, por aluminato monocálcico (CA) y, en su hidratación, forma los productos CAH_{10} y C_2AH_8 (cristalinos hexagonales) que son metaestables y que evolucionan con el tiempo, espontáneamente, a productos más estables y de menor volumen C_3AH_6 (cristalino cúbico) + AH_3 (gibsite). Este proceso de transformación produce una liberación de agua, un elevado aumento de porosidad y una disminución de resistencia mecánica (*ICCET 1992*). A esta transformación se le conoce popularmente como aluminosis y está favorecida por las temperaturas y humedades elevadas, condiciones típicas

de la climatología costera. Esto da lugar a hormigones porosos, fácilmente atacables desde el exterior y con menos capacidad resistente (IVE 2008).

2.5.5.6. Tipo de acero

Dentro de los factores internos que afectan a la velocidad de corrosión, es destacable señalar la influencia del tipo de acero en armaduras. Es necesario diferenciar las características de los aceros, y su comportamiento ante la corrosión por la presencia de iones despasivantes. En este sentido, existen diferencias entre las armaduras de pretensado o postesado, y las armaduras pasivas.

Cuando hablamos de acero pretensado o postesado, es necesario hablar de la corrosión bajo tensión: el tipo de corrosión localizada que ocurre cuando se dan conjuntamente elevadas tensiones de tracción y un medio agresivo (Podolny 1992). En atmósfera marina, en el caso de aceros pretensados, la manifestación de picaduras por corrosión causada por la presencia de iones cloruro, puede inducir a que el acero presente lo que se denomina corrosión bajo tensión. Este fenómeno se ve ampliado cuando existe un hormigón de mala calidad (Podolny 1992).

La geometría de las armaduras y concretamente la distribución, separación, altura y tipo de corrugas, influyen en la concentración de iones despasivantes (Moreno 2008). Además, existe diferencia entre barras lisas y barras corrugadas, en relación a la corrosión por presencia de cloruros. Petterson (1992) observó que el efecto de la corrosión por presencia de cloruros es mayor cuando se trata de armaduras corrugadas que cuando se trata de armaduras lisas, debido a la formación de huecos debajo de las corrugas, por donde pueden acceder el oxígeno y el agua a la armadura.

2.5.5.7. Fisuración

Como se ha comentado anteriormente, el hormigón es un material permeable donde, si los agentes agresivos alcanzan la armadura, provocan la corrosión de la misma.

El hormigón es un material que siempre presenta microfisuras que, cuando se combinan con las macrofisuras, se forma una red que puede alcanzar a las armaduras. Cuando esto ocurre, las fisuras aceleran los mecanismos de transporte de los agentes agresivos hacia las armaduras. Por lo tanto, el CO₂ y los cloruros penetrarán hasta la superficie de la armadura mucho más deprisa que cuando el transporte se realiza exclusivamente por difusión. El tiempo necesario para la despasivación de las armaduras depende, en general, de la anchura de las fisuras (Garcés et al. 2003)

En general, las fisuras pueden provocar los siguientes efectos negativos sobre las armaduras (Cobo 2001):

- Reducción de la distancia efectiva que deben recorrer los agentes agresivos hasta la armadura.
- Formación de macropilas de corrosión si el acero está despasivado, debido a que las fisuras provocan una baja resistividad y un rápido transporte iónico entre los pares ánodo-cátodo, situados a larga distancia.
- Acumulación de sales si el agua se evapora en la fisura.
- Por la dificultad de acceso del oxígeno, se genera una diferencia de potencial debido a una diferente concentración de oxígeno en el interior de la fisura respecto de la superficie.
- Formación de una pila de diferencia de alcalinidad, si la alcalinidad próxima a la fisura cambia localmente en comparación con el hormigón que la rodea (por ejemplo por el CO₂ del ambiente).

Al producirse la corrosión de las armaduras por presencia de iones cloruro, se produce un aumento del volumen local, que puede llegar a ser varias veces mayor que el volumen original. Este fenómeno hace que se creen fuertes tensiones en el hormigón, provocando que se generen fisuras que siguen las líneas de las armaduras principales, e incluso de los cercos o estribos, si la corrosión ha sido muy intensa. Estos efectos se aceleran si las aberturas de fisuras en el hormigón son más anchas.

La normativa española vigente en la actualidad, la EHE-08 (B.O.E. 203/2008), limita la abertura de fisura en función del tipo de exposición y el tipo de ambiente para el que se diseña la estructura. Cuando el ancho de fisuras es menor de 0,4 mm, es frecuente observar que se produce un proceso de autosellado, como consecuencia de los depósitos cálcicos, de la suciedad y de productos derivados de la corrosión. El tipo de cemento y su cuantía influyen en el proceso de cicatrización, dado que afectará a la capacidad del hormigón de liberar compuestos necesarios para el precipitado de los productos de autosellado (Cobo 2001). Después de la despasivación, los anchos de fisura son de menor importancia, dado que el proceso catódico (reducción del oxígeno para la formación de óxido o hidróxido) es el principal factor determinante de la velocidad de corrosión (Mosquera, 2011).

En cuanto a la profundidad de las fisuras en el hormigón, los ensayos de absorción de agua realizados por diferentes autores muestran que existe una relación entre la profundidad de fisura y la cantidad de agua absorbida (Paulsson-Tralla et al. 2002). Por absorción de agua a través de las fisuras, se transporta una gran cantidad de iones cloruro. Según varios autores, el recubrimiento del hormigón se debe incrementar en un 50 % de la profundidad de fisura para

proteger las armaduras (*Sandberg et al. 1998*).

Como es lógico, el tipo de fisura también influirá ya que, en procesos de carbonatación, una fisura longitudinal siguiendo la directriz de la barra expondrá una mayor proporción de la misma a la humedad y el oxígeno. En el caso de corrosión por penetración de cloruros, las fisuras perpendiculares a las barras pueden ser igualmente graves, debido a la diferencia de tamaños entre el ánodo y el cátodo, lo que aumenta la velocidad de corrosión en el ánodo, provocando una corrosión localizada intensa. Sin embargo, según *Fernandez Canovas (1994)*, las fisuras alineadas con las armaduras provocan una exposición menos severa porque el tamaño de las zonas anódica y catódica es semejante.

2.5.6 Influencia del tipo de óxido sobre los efectos de la corrosión

Llegados a este punto, es necesario estudiar la influencia que pueden tener los diferentes tipos de óxidos presentes en la corrosión del acero sobre el hormigón armado.

En concreto, los tipos de óxidos formados durante el proceso de corrosión van a influir en el alcance de las consecuencias del proceso patológico. En ambiente marino, la despasivación de la armadura puede llevar a la formación de una capa irregular de óxido sobre la interfase acero/hormigón. El espesor y la composición de los productos de esta capa han sido ampliamente estudiados por diferentes autores y todos coinciden en estar formada mayoritariamente por óxidos y oxi-hidróxidos no protectores. *Poupard et al. (2006)* afirma que el espesor aumenta con el grado de corrosión variando entre 20 y 500 micrómetros, Así mismo, la composición de la misma varía según el grado de daño: en zonas de baja corrosión, el compuesto formado es Magnetita (Fe_3O_4), que apenas tiene efectos expansivos; en zonas de elevada corrosión, se encuentra Goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$), Maghemita (Fe_2O_3) y Akaganeíta ($\beta\text{-FeOOH}$) (esta última en la interfase productos de corrosión/superficie acero de algunas picaduras). La diferente morfología de los cristales de los óxidos oxi-hidróxidos presentes en la corrosión, además de la compacidad y la porosidad, afecta al volumen de la capa y, por consiguiente produce efectos expansivos diferentes en el hormigón. En la Fig. 2.22 se puede apreciar la comparativa del volumen de los productos de corrosión (*Jaffer et al. 2009*).

La localización de las diferentes fases cristalinas en el espesor de la capa de óxido también se ha estudiado ampliamente. Especialmente para los aceros muy corroídos, diferentes autores encontraron que esta capa está compuesta de dos diferentes subcapas (*Castellote et al. 2002*, *Poupard et al. 2006*). *Shiotani et al. (2000)* observó por microscopia óptica polarizada, en aceros expuestos a atmósfera marina durante 27 años, que la zona interior parece constituida principalmente de Magnetita, Goethita y una sustancia amorfa, en cambio en la capa exterior, están presentes Lepidocrocita ($\gamma\text{-FeOOH}$) y algunas veces Akaganeíta. *Duffo et al. (2004)* en

su trabajo sobre una barra embebida en hormigón expuesta durante 65 años al ambiente atmosférico, confirma que la capa interior está formada principalmente por Magnetita no estequiométrica y bastante adherida y la exterior compuesta por Lepidocrocita y Goethita. La formación de productos densos en la capa de óxido, debido a Goethita, Magnetita o Maghemita ocurre sólo en ataque por carbonatación (De la Fuente et al. 2011, Poupard et al. 2006), pero esto no ocurre en el ataque por cloruros. La Lepidocrocita suele cambiar a Goethita después de una exposición prolongada, con lo que la cantidad de aquella decrece gradualmente cuando el tiempo de exposición es elevado.

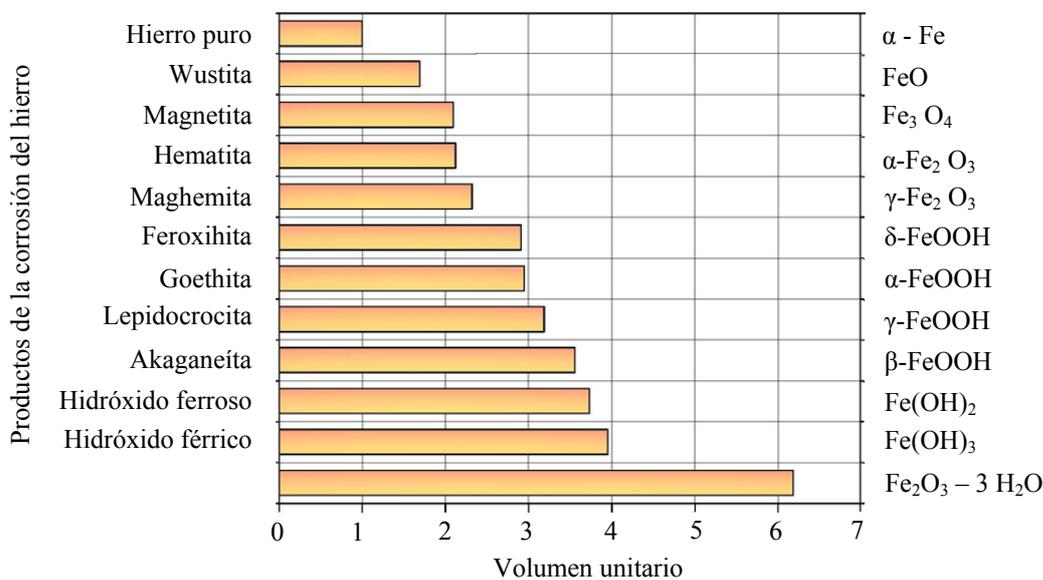


Fig. 2.22. Volumen de los diferentes óxidos de la corrosión, adaptado de Jaffer et al. (2009)

Para regiones con alta corrosión, la Goethita está presente en la capa de óxido, sobre todo en la subcapa exterior. La presencia de Akaganeíta en la capa de óxido, aparece bajo condiciones de alta concentración de cloruros. Ma et al. (2009), corroboraron que la presencia de Cl⁻ y, por consiguiente, la fase de Akaganeíta apunta a velocidades altas en la corrosión.

En cuanto a la morfología de los cristales, depende de las condiciones de formación de los mismos. La Lepidocrocita aparece frecuentemente con formas de pequeños globos cristalinos (cristales de arena) o como placas finas (estructura floral) (Fig. 2.23.a). La Morfología de la Goethita suele tener forma de estructuras globulares, llamadas “bolas de algodón”- “cottonballs”- (Goethita semi-cristalina) (Fig. 2.23.b), interconectadas por formaciones como nidos -“nestmorphology”- (Fig. 2.24.a) o incluso como estructuras aciculares (Goethita cristalina) (Fig. 2.24b). La magnetita se presenta como regiones planas oscuras, con discos circulares que son muy difíciles de encontrar; en cambio, la Akaganeíta puede aparecer como bola de algodón o morfología de rosas. Como se puede apreciar en estos estudios, la diferente

morfología de los cristales afecta mucho a su compacidad y, por consiguiente a su porosidad, que permite el paso de agua y aire.

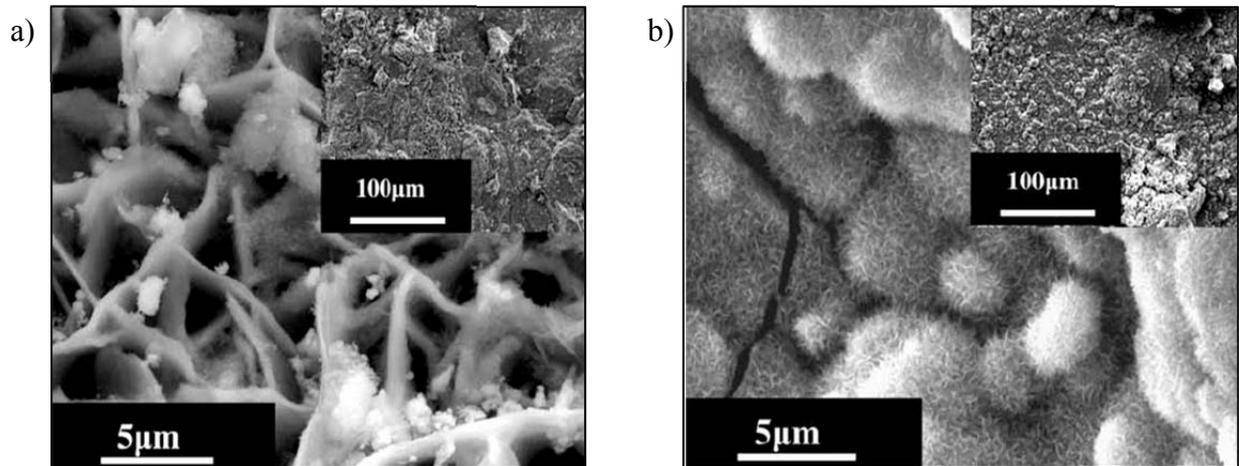


Fig. 2.23. Diferentes morfologías de cristales, adaptado de *Ma et al. (2009)* a) estructura floral de placas finas, b) estructura de bolas de algodón

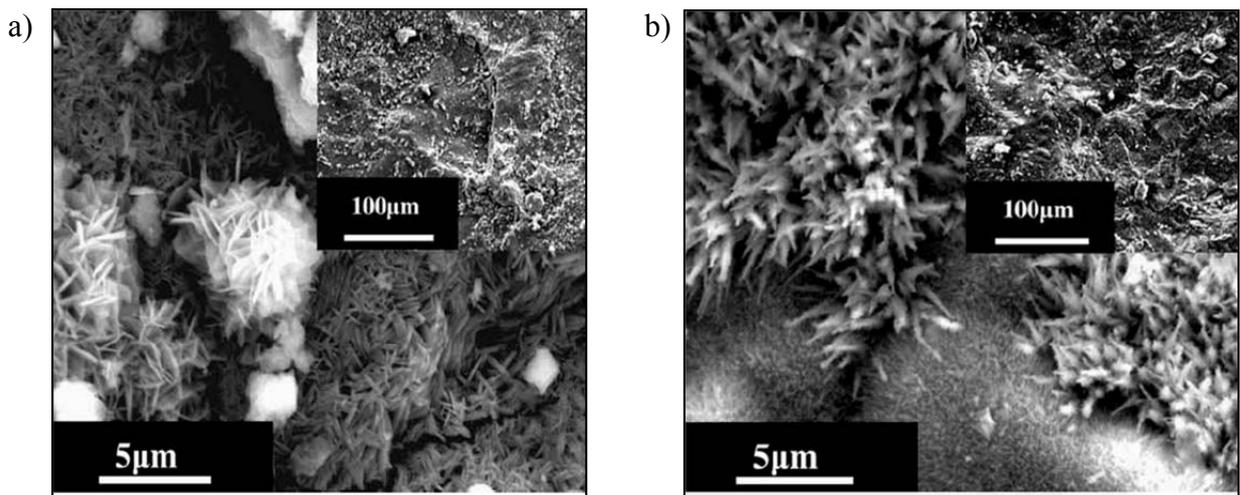


Fig. 2.24. Diferentes morfologías de cristales, adaptado de *Ma et al. (2009)* a) estructura de nidos y b) estructura acicular

2.5.7. Efectos de la corrosión sobre las estructuras

2.5.7.1. Efectos sobre el hormigón

Cuando el pH en el interior de los poros del hormigón baja a valores en torno a 9, las armaduras se encuentran en situación de desprotección, pudiendo producirse la despasivación del acero por carbonatación o por ataque de ión cloruro. La transformación del hierro de las

armaduras en óxidos hidratados y oxihidróxidos (de fórmula general: $\text{FeO}(\text{H}_2\text{O})_x$) lleva consigo un incremento del volumen que puede llegar a ser de un 600 % o más (Duffó *et al.* 2002, Mosquera Rey 2011). Este aumento de volumen de las armaduras hace que se produzcan tensiones radiales que someten a tracción el hormigón circundante. Si los productos de corrosión no migran a través de los poros, pequeñas cantidades de metal corroído pueden generar tensiones que superan la resistencia a tracción del hormigón (Cobo 2001). La consecuencia inmediata es la fisuración del recubrimiento del hormigón en sentido paralelo a las armaduras (Fig. 2.25), pudiendo llegar a desprenderse el hormigón en estas zonas.



Fig. 2.25. Fisuración del recubrimiento (Moreno 2008)

Cuando hay poco oxígeno, debido a la saturación de los poros o porque no hay disponibilidad del mismo, el volumen de los óxidos puede considerarse dos veces mayor que el volumen del acero. Así mismo, si se produce el proceso a velocidad lenta, puede hacer que los productos de la corrosión se difundan dentro de los poros, sin causar fisuras que denoten la corrosión, por lo que se puede dar el caso de fallo inesperado sin manifestación previa.

La cantidad de productos de corrosión necesaria para que aparezcan síntomas visibles depende de numerosos factores. La complejidad del proceso se manifiesta en:

- La naturaleza de los productos varía mucho dependiendo del pH, la disponibilidad de oxígeno y el contenido de humedad.
- Es un proceso dinámico, no sigue una ley lineal con el tiempo.
- No todos los productos de la corrosión son responsables de la presión ejercida en el

recubrimiento.

En cuanto a la manifestación del daño, depende también de numerosos factores, como son (Cobo 2001):

- La separación y el diámetro de armaduras.
- El espesor del recubrimiento.
- La forma del elemento estructural.
- La calidad del hormigón del recubrimiento.

2.5.7.2. Efectos sobre el acero

Cuando la corrosión se produce de modo uniforme y el proceso es incipiente, se puede suponer, en una primera aproximación, que la capacidad mecánica de la armadura disminuye de forma proporcional a la pérdida de sección. Aunque una leve corrosión puede aumentar la capacidad de flexión, esta capacidad se reduce considerablemente cuando la pérdida en el diámetro de la barra es superior al 2 % (Chung et al. 2008).

Cuando el fenómeno está más avanzado, las picaduras actúan como concentradores de tensión, produciendo un estado triaxial de tensiones que fragilizan al acero (Cobo 2001).

En el trabajo de Cobo (2001) se realizaron ensayos sobre barras corrugadas de acero, previamente corroídas mediante un proceso acelerado, donde se analizaba, en función del nivel de corrosión, el límite elástico f_{sy} , la resistencia a tracción f_{su} y la deformación bajo carga máxima ε_{su} . Las conclusiones que se obtuvieron fueron:

- La influencia de la corrosión en la resistencia del acero es poco significativa para pérdidas de sección menores del 20 %. En cambio, niveles de deterioros mayores y con pérdidas de sección del 30-40%, la corrosión hizo disminuir la resistencia del acero en torno al 11 % la f_{sy} y del 8% la f_{su}
- Se produce una reducción sistemática de la deformación bajo carga máxima ε_{su} y, por lo tanto, de la ductilidad. Se obtienen reducciones de ε_{su} del orden de 20% para niveles de corrosión que implican pérdidas de sección del 10% y reducciones del 45% para pérdidas de sección del 25% al 30%.

2.5.7.3. Efectos sobre el sistema hormigón-acero

En condiciones normales, el óxido presente en la capa pasiva de las armaduras es adherente y esencialmente uniforme, lo que repercute positivamente en la adherencia acero-hormigón. Cuando se produce la destrucción de la capa pasiva y la posterior corrosión de las armaduras,

se genera un descenso importante de la adherencia, llegando a niveles muy bajos en el caso de tener un grado importante de corrosión (*Rodríguez et al. 1993*).

En barras corrugadas, la corrosión afecta a su comportamiento adherente a través de cuatro mecanismos (*Cobo 2001*):

- Por la variación de la naturaleza de la interfase entre el acero y el hormigón. La corrosión del acero provoca la aparición de productos de corrosión que son los que están en contacto con el hormigón, perdiendo el acero la base de la adherencia con él. Sin embargo, para niveles de corrosión pequeños, la adherencia entre el acero y el hormigón aumenta
- Por la pérdida de altura de corruga. La corrosión afecta en mayor medida a la pérdida de altura de corruga que a la pérdida de sección. De este modo, en barras en las que se ha perdido un 3% de sección transversal, se manifiestan pérdidas de altura de corruga de más del 20%, con la consiguiente disminución del acuanamiento entre acero y hormigón
- Por la aparición de fisuras en el hormigón. Pequeños niveles de corrosión del acero incrementan la adherencia, pero después de la aparición de fisuras en el hormigón, la adherencia disminuye drásticamente.
- En el caso de existencia de armadura transversal, la corrosión de cercos modifica las condiciones de confinamiento del hormigón que rodea a las barras, alterando las condiciones de adherencia.

La gravedad de la disminución de la adherencia hormigón-acero depende de la situación donde se ubique la corrosión. Cuando se produce en la zona de anclaje de armaduras, las consecuencias pueden ser graves porque se puede producir un fallo de naturaleza frágil.

Con respecto al acero pretensado de las viguetas, también se produce una pérdida de adherencia hormigón-acero, debido a la corrosión de los alambres. En un estudio realizado por *Rio et al. (2000)*, se observan pérdidas de capacidad portante del orden del 30% al 40% en viguetas con armaduras de acero pretensado corroídas en la zona de tracción. El fallo se produjo por falta de adherencia hormigón-acero (*Rio et al. 2000*).

Además de la adherencia entre hormigón y acero, la corrosión afecta seriamente a la capacidad portante de la estructura. En este caso, la velocidad de corrosión juega un papel fundamental en la capacidad portante de la misma. En la zona de atmósfera marina, con velocidades de corrosión comprendidas entre 0,1 y 1,0 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, apenas se reduce la capacidad resistente durante la vida útil de la estructura. En cambio, a velocidades entre 10 y 100 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, la capacidad portante se reduce de forma muy significativa. (*Rodríguez et al. 1995*).

2.6. Conclusiones relativas al Capítulo 2

La investigación objeto de este trabajo se realizará para la tipología de edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar, entendiendo ésta como edificios de más de una vivienda, que se desarrollan en altura, mediante la ubicación de viviendas en plantas sucesivas, con el 70% de ellas dedicadas a segunda residencia.

Dentro de la tipología estudiada, existen diferentes agrupaciones urbanísticas que condicionan la forma de los edificios y su grado de exposición a los agentes agresivos. En este sentido, se pueden dar diferentes agrupaciones:

- Manzana cerrada.
- Manzana abierta.

La determinación del crecimiento urbanístico de las localidades del litoral costero y las tipologías de manzana asociadas a éste, permiten determinar el grado de exposición. Las manzanas cerradas son más compactas, con lo que presentan un solo frente, con una fachada más expuesta que las otras. Este frente compacto produce un efecto barrera a la acción del ambiente marino sobre el resto. Las manzanas abiertas y en bloques exentos disponen de cuatro fachadas expuestas que permite que circule la niebla salina y no se genere un efecto barrera.

La aproximación al urbanismo de la costa valenciana del siglo XX ha dado como resultado la diferenciación de épocas de construcción, dependiendo de los booms turísticos e inmobiliarios. Se ha visto que han existido, desde los años 60 hasta la crisis actual, tres períodos de crecimiento inmobiliario, siendo el último el que va desde la aparición de la LRAU en 1994 hasta el año 2007, donde el ritmo de construcción ha sido muy elevado; se han sucedido otros tres períodos de crisis entre estos booms inmobiliarios.

El crecimiento urbanístico ha llevado a la aparición de un amplio frente edificado en la costa valenciana. Esto ha producido que, en muchas localidades costeras, se haya generado un urbanismo a base de aglomeración compacta de edificaciones, con un alto coeficiente de edificabilidad. Así mismo, estas edificaciones son de alturas significativas. Todo ello ha llevado a la implantación de bloques que siguen unas pautas constructivas y formales idénticas.

Otro aspecto que se ha tratado con especial detalle en este *Capítulo* ha sido el análisis de la normativa del hormigón durante el período estudiado. Se ha realizado un resumen del concepto de durabilidad en la normativa actual y cómo ha ido evolucionando el tratamiento de la durabilidad y las prescripciones en materia de durabilidad de las diferentes normas de

hormigón armado desde los años 60 hasta el año 2007. En el *Anexo A* se presenta un estudio más pormenorizado.

Se ha comprobado que, en las diferentes normativas, se dejaba a criterio del proyectista las medidas a adoptar en relación a la dosificación y ejecución de las obras de hormigón armado. Si bien se disponía que en ambientes agresivos se debiera cuidar las características y la dosificación de los hormigones, no se tenían especificaciones concretas. Así mismo, el concepto de las clases de exposición de las estructuras no se añadió hasta la aparición de la EH-88.

Las especificaciones técnicas sobre los recubrimientos de las armaduras han variado en las distintas normas de hormigón armado. En las primeras normas, el recubrimiento era estimado por el proyectista para ambientes agresivos, hasta la aparición de la EH-88, donde ya se proponían los recubrimientos, dependiendo del nivel de exposición de la estructura.

En este trabajo se ha tenido en cuenta exclusivamente el ambiente marino, por ser el tipo de exposición predominante al que se van a ver afectadas las edificaciones de segunda residencia del litoral valenciano. El principal tipo de daño en atmósfera marina viene de la corrosión de las armaduras. En este sentido, el ataque por ion cloruro es la principal causa de deterioro, que genera corrosión localizada por medio picaduras. Además de la corrosión por efecto del ion cloruro, existe la carbonatación del hormigón, que genera una corrosión generalizada. Existe también un efecto sinérgico entre la carbonatación y el ataque por ion cloruro, lo cual debe tenerse en cuenta en la estimación del contenido crítico de los cloruros a partir del cual puede producirse la despasivación de las armaduras.

Los factores externos que influyen en el grado de exposición de la estructura y, por ende, en la corrosión de las armaduras son: la distancia a la línea de costa, la velocidad del viento, la orografía y la presencia de obstáculos. Además de estos factores, la temperatura, la humedad relativa y los ciclos de humectación-secado soportados por los elementos estructurales, tienen una fuerte influencia en la difusión de iones despasivantes en el interior del hormigón armado.

Los factores internos que tienen repercusión en la accesibilidad de los agentes agresivos en el interior del hormigón son los correspondientes a: la resistividad, la permeabilidad y la porosidad del hormigón. La relación agua/cemento, el recubrimiento de la armadura y el tipo de acero, el tipo de cemento, su contenido mínimo y la fisuración, delimitan la calidad del hormigón y su comportamiento con respecto a los agentes agresivos.

La diferente morfología de los cristales de los óxidos y oxi-hidróxidos presentes en la corrosión, además de la compacidad y la porosidad, afectan al volumen de la capa y, por consiguiente, producen efectos expansivos diferentes en el hormigón. Los óxidos de hierro

(II) y (III) presentan un volumen aproximadamente el doble que el del acero del que proceden. Además, si estos óxidos están hidratados (oxi-hidróxidos), el volumen puede llegar a ser 4 veces superior o más. Este incremento de volumen justificaría la aparición de fisuras en las capas del propio óxido. La forma en la que se disponen los diferentes óxidos condiciona también el que la capa sea más o menos porosa lo que influye en el avance de la corrosión de la armadura. El efecto de la pérdida de sección de la armadura, produce un efecto de entalla en la zona afectada y facilita el desprendimiento del recubrimiento. La corrosión también influye en la adherencia entre el acero y el hormigón.

Es necesario, por tanto, un estudio pormenorizado sobre la tipología de edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar debido sobre todo a que:

- Esta tipología de edificación es una importante figura dentro del urbanismo en el litoral valenciano.
- El crecimiento urbanístico soportado por las diferentes localidades costeras se ha basado en esta tipología.
- Al situarse en ambiente agresivo, estos edificios están más expuestos a soportar lesiones y manifestaciones patológicas, con lo que es necesario conocer el estado del parque inmobiliario asociado a esta tipología.

Mediante el presente trabajo, se pretende realizar un estudio exhaustivo, analizando los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar dentro de los núcleos urbanos costeros. Este estudio es necesario que considere los siguientes puntos:

- La influencia que tiene el crecimiento urbanístico en la posible exposición de los inmuebles de las localidades costeras.
- La necesidad de un estudio de las características de exposición de los núcleos urbanos en la costa.
- Dado que el aspecto constructivo de las estructuras de hormigón armado es fundamental para conocer su grado de deterioro, se deberá realizar un análisis de la tradición constructiva del litoral, centrándose en los aspectos remarcados en este *Capítulo*. Deberá también plantearse el análisis del estado de las edificaciones mediante el estudio de las manifestaciones patológicas que, habitualmente, hayan venido apareciendo en estos edificios.

CAPITULO 3. ESTUDIO DE LAS CARACTERISTICAS DEL LITORAL VALENCIANO

3.1. Introducción

En este *Capítulo* se realiza una visión general de todos los núcleos poblacionales presentes en la costa de la Comunidad Valenciana, para poder realizar una catalogación de los mismos atendiendo a los grados de exposición, a partir del estudio de variables tales como:

- Régimen de vientos.
- Tipo de orografía.
- Temperatura y precipitaciones.
- Distancia a la costa.
- Año de construcción de los edificios.
- Crecimiento urbanístico.

Como se verá más adelante en esta tesis doctoral, la corrosión de las armaduras tiene un papel destacado en las diferentes manifestaciones patológicas adscritas a la tipología de edificio de segunda residencia en bloque plurifamiliar, con estructura de hormigón armado. En el *Capítulo 2* se ha visto que un factor determinante en la corrosión de las armaduras es la exposición a ambientes agresivos. En el caso de los núcleos urbanos costeros, el ambiente marino determina esa agresividad.

Es sumamente importante determinar, por tanto, el nivel de exposición del litoral valenciano y sus poblaciones, para después poderlo relacionar con los daños manifestados en las estructuras de los edificios.

En este sentido, y como se manifiesta en el *Capítulo 2*, los factores externos, como son la distancia a la costa, el régimen de vientos, la orografía, la presencia de obstáculos, la temperatura ambiente y el régimen pluviométrico, influyen en el grado de exposición de las poblaciones costeras.

Otro dato importante para poder analizar las características de los núcleos urbanos de la costa es el conocimiento de la edad de los edificios. La antigüedad del parque inmobiliario condiciona el estado de sus estructuras, por lo que es un factor crucial en el estudio de sus

daños.

La ubicación de los edificios puede condicionar su nivel de exposición; por este motivo se pretende estudiar, además, la situación y el emplazamiento de estos edificios con respecto a la línea costera. Por ello, el estudio del crecimiento urbanístico que ha habido en las poblaciones costeras es importante a la hora de analizar el tipo y grado de exposición de los edificios.

3.2. Características de exposición de las poblaciones del litoral valenciano

El régimen de vientos puede determinar, en gran medida, el grado de exposición al ambiente agresivo de los núcleos urbanos presentes en la costa valenciana. Así mismo, la orografía de es un factor importante en ese grado de exposición (*Rivero et al. 2007*).

Por tanto, para poder realizar una calificación del nivel de exposición de las poblaciones de la costa, primero hay que determinar el régimen de vientos y las características orográficas de cada zona, así como el estudio de la temperatura ambiente y las precipitaciones.

3.2.1. Estudio del régimen de vientos

Como se ha reflejado en el *Capítulo 2*, existen ciertas direcciones de los vientos predominantes que contribuyen a generar una alta concentración de sales en el aire hacia el interior de la costa (*Morcillo et al. 2000*). Los vientos dominantes que provienen del mar son los que más aerosol marino transportan (*Lovett 1978, Morcillo et al. 2000*). Por lo tanto, conocer el régimen de vientos y su velocidad permite determinar el grado de exposición a la niebla salina de las poblaciones costeras.

Para poder realizar el estudio del régimen de vientos, se ha solicitado a la Agencia Estatal de Meteorología (*AEMET 2015*) los datos meteorológicos anuales de las estaciones próximas a los núcleos poblacionales costeros. Además de los datos facilitados por la AEMET, se han empleado los informes extraídos de la web (www.windfinder.com), que es específica del estudio del régimen de vientos. Se han utilizado, además, datos obtenidos del Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (*Pérez Cueva 1994*).

Con todos los datos recopilados, se realiza una primera aproximación al estudio del régimen de vientos de la costa valenciana a través de las direcciones principales. El análisis de la rosa de los vientos de cada población permite conocer el viento dominante. Este estudio queda reflejado en la Tabla 3.1, donde se aprecian los vientos dominantes de cada núcleo urbano costero.

En la provincia de Castellón, en la zona norte de la sierra de Irta, predominan los vientos

Norte (N) y Este (E). En cambio, en la parte central, los vientos de componente Sur (S) son los más habituales. La zona sur de esta provincia está dominada por vientos de componente Este-Sureste (E-SE), Oeste (O). En este último caso, la llanura conocida como la Plana de Castellón tiene una gran influencia en esa dirección (*Pérez Cueva 1994*).

En la provincia de Valencia, en el norte, destaca la presencia de viento con componente Este (E) y Este-Noreste (ENE). La presencia montañosa de la sierra de Espadán condiciona esta dirección (*Pérez Cueva 1994*). En las poblaciones próximas a Valencia, la dirección es Este-Sureste (ESE), debido sobre todo a la gran planicie de la provincia de Valencia. En la zona centro, el viento predominante es el de componente Sur (S). En cambio, en la zona sur de esta provincia prevalece la dirección Este-Noreste (ENE).

En cuanto a la provincia de Alicante, la zona norte está muy influenciada por la presencia montañosa del Montgó (*Pérez Cueva 1994*). En el norte del mismo, los vientos tienen componente Este-Noreste (ENE) y Oeste-Suroeste (OSO), predominando este último. En cambio, al sur del Montgó, los vientos son principalmente Oeste-Suroeste (OSO). En la zona central de la provincia, predomina el Este-Sureste (E-SE) debido, sobre todo, a la presencia de la serranía que actúa de pantalla. En cuanto al sur, el viento dominante tiene una componente Oeste-Noroeste (O-NO) y Sur-Sureste (SSE).

Si se realiza un estudio cualitativo sobre la importancia de la exposición de las poblaciones con respecto al régimen de vientos, mediante el estudio de las brisas marinas y la velocidad de las mismas, es posible plantear un análisis del nivel de exposición dependiente de estos factores. Este análisis se reflejará en el *Capítulo 6*.

3.2.2. Características orográficas de la costa valenciana

El perfil topográfico de la costa acentúa los efectos de fricción producidos por el viento (*Quereda Sala 1989*). En este sentido, las sierras actúan como elemento pantalla a la acción del viento y, además, como instrumento vertebrador de la dirección del mismo. En contraposición a este efecto vertebrador, se sitúan las llanuras abiertas entre serranías, que permiten la libre circulación del viento.

Para el estudio de la orografía en las poblaciones costeras, se ha extraído información del Plan de Acción Territorial de Infraestructuras Verde y Paisaje (*Consellería de Medi Ambient, Urbanisme i Habitatge 2011*) del Centro de Información y Documentación Ambiental (*CIDAM 2015*), y de los Planes Generales de Ordenación Urbana (P.G.O.U.) de diferentes localidades (*Ayuntamiento de Peñíscola 2010, Ayuntamiento de Oropesa del Mar 2009*). En este apartado se realiza una recopilación de todos estos datos.

Tabla 3.1.

Régimen de vientos de los núcleos urbanos de la costa valenciana

Provincia	Núcleo Urbano	Viento Dominante	Provincia	Núcleo Urbano	Viento Dominante
Castellón	Vinaròs	NO	Valencia	Grau de Gandía	NE
Castellón	Benicarló	NO	Valencia	Daimús	ENE
Castellón	Peñíscola	E-SE	Valencia	Guardamar de la Safor	ENE
Castellón	Alcossebre	S	Valencia	Bellreguard	
Castellón	Capicorp (Alcossebre)	S	Valencia	Miramar	ENE
Castellón	Torreblanca	S-SSE	Valencia	Piles	ENE
Castellón	Oropesa del Mar	S-SSE	Valencia	Oliva	E-O
Castellón	Benicàssim	ESE	Alicante	Molinell	E-O
Castellón	El Grao	O-ESE	Alicante	Els Poblets	N-SSE
Castellón	Almassora	O-ESE	Alicante	Dénia	ENE-OSO
Castellón	Burriana	O-ESE	Alicante	Jávea	O-E
Castellón	Nules	O-ESE	Alicante	Benitatxell	E-OSO
Castellón	Moncofa	S-SE	Alicante	Moraira	E-OSO
Castellón	Xilxes	S-SE	Alicante	Calpe	S-SO
Castellón	Almenara	S-SE	Alicante	Mascarat (Altea)	E-SE
Valencia	Almardà (Sagunto)	E-ENE	Alicante	Cap Negret (Altea)	E-SE
Valencia	Canet d'en Berenguer	E-ENE	Alicante	Altea	E-SE
Valencia	Puerto de Sagunto	E-ENE	Alicante	L'Alfàs del Pi	E-SE
Valencia	Puçol	E-ENE	Alicante	Benidorm	S-SO
Valencia	El Puig	E-ENE	Alicante	La Cala (Vila Joiosa)	S-SO
Valencia	Pobla de Farnals	ESE	Alicante	La Vila Joiosa	S-SO
Valencia	Port Saplaya (Alboraya)	ESE	Alicante	El Campello	O-NO
Valencia	Pinedo	ESE	Alicante	Playa San Juan (Alicante)	O-NO
Valencia	El Saler	ESE	Alicante	Alicante	E-NO
Valencia	El Perellonet (Valencia)	S	Alicante	Los Arenales (Elche)	ENE
Valencia	El Perelló (Sueca)	S	Alicante	Santa Pola	ENE
Valencia	Les Palmeres	S	Alicante	Guardamar del Segura	O
Valencia	Mareny de Barraquetes	S	Alicante	Torrevieja	ONO-SSE
Valencia	Mareny Blau (Sueca)	S	Alicante	La Zenia (Orihuela)	ONO-SSE
Valencia	Cullera	ENE	Alicante	Dehesa (Orihuela)	ONO-SSE
Valencia	Xeraco	NE	Alicante	Pilar de la Horadada	ONO-ESE

El litoral valenciano ocupa unos 440 km de longitud de costa (*Consellería de Medi Ambient, Urbanisme i Habitatge 2011*). Para poder determinar la influencia de la orografía en el grado de exposición de las poblaciones costeras, hay que delimitar el estudio. Se ha dividido el litoral, según de su orografía, en tres grandes grupos:

- Planicies
- Serranía
- Marjal

Se define como planicie costera a una llanura de baja altitud o con elevaciones dispersas que se ubica junto al mar (*Pérez Cueva 1994*). Las más importantes de la Comunidad Valenciana son la depresión del golfo de Valencia y la depresión del Vinalopó-Segura. Así mismo se tienen, en el Norte, la llanura de Vinaròs y la Plana de Castelló. En la Fig. 3.1, se pueden apreciar dos ejemplos de planicies, una en Tavernes de la Valldigna (Fig. 3.1.a) y otra en Oliva (Fig. 3.1.b)

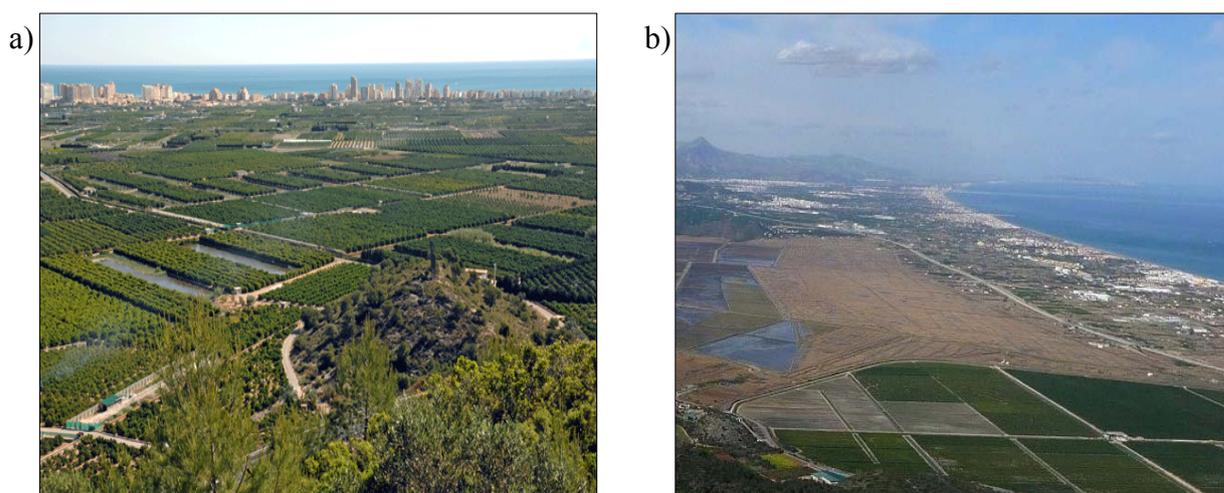


Fig. 3.1. Ejemplos de planicies a) Tavernes de la Valldigna y b) Oliva. Fuente: www.googlemaps.com

La tipología de serranía, se conoce como la zona en donde existen montañas y sierras (*RAE 2015*). En el litoral valenciano, las serranías llegan hasta la costa separando las zonas de planicies. Las más importantes son la sierra de Irta, la zona de Oropesa del Mar y Benicàssim, la montaña de Cullera, y la zona norte de la provincia de Alicante. La Fig. 3.2 presenta dos ejemplos de orografía costera de serranía, una de la Sierra de Irta (Fig. 3.2.a) y otra de la Sierra de Bèrnia, a la altura de la población de Moraira (Fig. 3.2.b)

Los marjales son terrenos bajos y pantanosos (*RAE 2015*), generalmente cerca de la costa. En este trabajo, es importante delimitarlos, debido a que son zonas de alto contenido en humedad

y de nivel freático muy alto. Los marjales más importantes en el litoral valenciano son los de Peñíscola, el Prat de Cabanes, la zona entre Sagunto y Puçol, el de Xeraco-Xeresa, Pego-Oliva y el Hondo de Elche. En la Fig. 3.3 se presenta el ejemplo del marjal de Pego-Oliva.

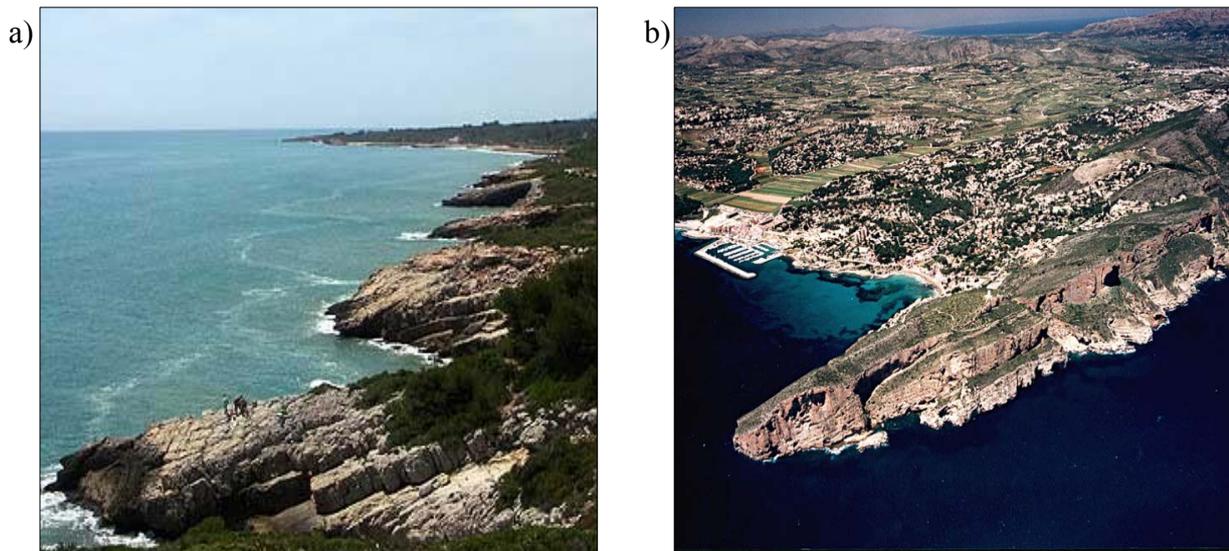


Fig. 3.2. Ejemplos de serranía a) Sierra de Irta y b) Moraira. Fuente: www.comunitatvalenciana.com



Fig. 3.3. Ejemplo de marjal: Pego-Oliva. Fuente: www.common.wikipedia.org

El análisis de las características orográficas permite determinar otra de las variables que influye en el estudio de los agentes atmosféricos de las poblaciones de costa, siendo un factor determinante a la hora de clasificar qué tipo de exposición al viento tienen dichos núcleos urbanos. Por ejemplo, en las serranías, existe una función pantalla que no permite algunas direcciones de viento y coarta el movimiento libre del mismo.

En la Tabla 3.2 se presenta el resultado del análisis orográfico de los núcleos urbanos de las tres provincias de la Comunidad Valenciana. Como se puede apreciar, existe un predominio de los núcleos urbanos situados en planicies en relación a los que se ubican en serranías y marjales. Las poblaciones emplazadas en las zonas de marjales, dispondrán de mayor presencia de humedad. En cambio, en las que se ubican protegidas por serranías, existirá un efecto pantalla que frenará al viento proveniente del mar. En este sentido, y para la clasificación del nivel de exposición al viento de los núcleos urbanos, aquellos en los que exista presencia de marjales, serán los que dispondrán de una mayor afección del ambiente agresivo. Aunque con un menor grado de exposición, los núcleos urbanos ubicados en planicies también se encontrarán muy expuestos al viento proveniente del mar. En las poblaciones ubicadas en serranías, el grado de exposición será menor por el efecto protección de las serranías.

3.2.3. Régimen de temperaturas, humedad relativa y precipitaciones

Tal y como se ha visto en el *Capítulo 2*, los ciclos de humectación-secado influyen en el contenido en ion cloruro en las estructuras (*Medeiros et al. 2013*). Cuando existen frecuentes ciclos de humectación-secado, el contenido de ion cloruro aumenta en el hormigón. Así mismo, la humedad del ambiente y el régimen de lluvias influyen en los niveles de salinidad del ambiente (*Morcillo et al. 2000, Mats et al. 1996*).

Es importante, por tanto, conocer el régimen de temperaturas, humedades del ambiente y ciclos de precipitaciones de las poblaciones costeras, para así conocer los niveles de exposición de la zona objeto de estudio. En este sentido, se han extraído datos procedentes del Atlas Climático de la Comunidad Valenciana (*Pérez Cueva 1994*) y del Anexo para la Elaboración de los Mapas de Peligrosidad de Riesgo de Inundaciones de la Confederación Hidrográfica del Júcar (*CHJ 2014*).

La costa valenciana queda enmarcada dentro de la zona climática de Llanura Litoral Septentrional (*Pérez Cueva 1994*). Pertenece a la unidad geográfica del Mediterráneo Occidental, donde confluyen las masas de aire frío del Norte del Europa, las corrientes Atlánticas del estrecho de Gibraltar y el cálido aire sahariano. La existencia de un mar Mediterráneo cálido, determina un régimen de temperaturas y precipitaciones muy singular. A consecuencia del efecto termorregulador del mar Mediterráneo, la amplitud térmica no suele sobrepasar los 14 °C, siendo la temperatura media anual de 16 °C a 18 °C.

Tabla 3.2.

Orografía de los núcleos urbanos de la costa valenciana

Provincia	Núcleo urbano	Lineal	Serranía	Marjal	Provincia	Núcleo urbano	Lineal	Serranía	Marjal
Castellón	Vinaròs	X			Valencia	Xeraco	X		
Castellón	Benicarló	X			Valencia	Grau de Gandía	X		X
Castellón	Peñíscola	X	X		Valencia	Daimús	X		
Castellón	Alcossebre	X			Valencia	Guardamar de la Safor	X		
Castellón	Capicorp	X		X	Valencia	Miramar	X		
Castellón	Torreblanca	X		X	Valencia	Piles	X		
Castellón	Oropesa del Mar	X	X		Valencia	Oliva	X		
Castellón	Benicàssim	X			Alicante	Molinell	X		X
Castellón	El Grao	X			Alicante	Els Poblets	X		X
Castellón	Almassora			X	Alicante	Dénia	X		X
Castellón	Borriana	X			Alicante	Jávea	X	X	
Castellón	Nules	X		X	Alicante	Benitatxel		X	
Castellón	Moncofa	X			Alicante	Moraira		X	
Castellón	Xilxes	X			Alicante	Calpe	X	X	
Castellón	Almenara	X		X	Alicante	Mascarat (Altea)		X	
Valencia	Almardà (Sagunto)	X			Alicante	Cap Negret (Altea)		X	
Valencia	Canet d'en Berenguer	X		X	Alicante	Altea		X	
Valencia	Puerto de Sagunto	X			Alicante	L'Alfàs del Pi		X	
Valencia	Puçol	X		X	Alicante	Benidorm	X	X	
Valencia	El Puig	X		X	Alicante	La Cala (Vila Joiosa)		X	
Valencia	Pobla de Farnals	X		X	Alicante	La Vila Joiosa	X	X	
Valencia	Port Saplaya	X			Alicante	El Campello	X	X	
Valencia	Pinedo	X		X	Alicante	Playa San Juan	X	X	
Valencia	El Saler	X			Alicante	Alicante	X		
Valencia	El Perellonet	X			Alicante	Los Arenales (Elche)	X		
Valencia	El Perelló	X			Alicante	Santa Pola	X		
Valencia	Les Palmeres	X			Alicante	Guardamar del Segura	X		
Valencia	Mareny de Barraquetes	X			Alicante	Torrevieja	X		
Valencia	Mareny Blau	X			Alicante	La Zenia (Orihuela)	X		
Valencia	Cullera	X	X	X	Alicante	Dehesa (Orihuela)	X		
Valencia	Tavernes de la Valldigna	X			Alicante	Pilar de la Horadada	X		

El mes más cálido es agosto con una temperatura media que oscila desde los 20 °C hasta 25°C. Por contrario el más frío es enero, con valores que van desde los 8 °C hasta los 10°C. El resto de los meses presentan una serie de valores medios que, desde los mínimos invernales, van ascendiendo de forma progresiva hasta los máximos estivales, a partir de los cuales se observa un descenso algo más acusado hasta alcanzar de nuevo los valores mínimos. Según los datos de las estaciones meteorológicas consultadas, las temperaturas medias y mínimas sólo en casos muy puntuales descienden por debajo de los 0 °C, por lo que los periodos de heladas son prácticamente nulos (*Pérez Cueva 1994*); la temperatura del litoral de la costa valenciana se mantiene en unos rangos con poca variación. En esta franja de valores, y por lo visto en el *Capítulo 2*, la temperatura ambiente no es un factor determinante en la velocidad de corrosión (*Andrade et al. 1998*).

La pluviometría no es uniforme a lo largo de todo el año, distinguiéndose periodos húmedos y secos. Las precipitaciones acumuladas se encuentran entre los 300 y 500 mm anuales, concentrándose primordialmente en los meses de octubre y noviembre. Las precipitaciones se producen, mayoritariamente, de forma líquida, siendo las sólidas (nieves y granizos) más frecuentes en las áreas más alejadas de la costa, y produciéndose de forma esporádica. Otros momentos en los que se producen precipitaciones son en los meses de diciembre y mayo. Las lluvias en los meses de verano son, en general, muy escasas.

Es necesario mencionar las tormentas mediterráneas que suelen ser habituales entre los meses que van del verano al otoño. Suponen, en ocasiones, un aporte de cerca del 50% de la precipitación anual, acompañada de una gran intensidad de lluvia. Se pueden llegar a registrar hasta 200 mm en pocas horas. La causa de estas tormentas hay que buscarla en la posición de la región, que determina la confluencia de dos frentes que ocasionan una fuerte inestabilidad atmosférica. Este hecho se produce en la época en la que las temperaturas del mar son más altas, en donde los vientos africanos (cálidos y secos) van cargándose de humedad conforme atraviesan el Mediterráneo (*Pérez Cueva 1994*). Se llega a una situación en la que estas masas de humedad se ponen en contacto con bolsas de aire a muy baja temperatura en capas superiores de la atmósfera, hecho que produce una repentina condensación con intensas y elevadas precipitaciones. Este fenómeno atmosférico es conocido como "Gota Fría", y suele provocar importantes daños materiales sobre las poblaciones, repercutiendo sobre el medio físico en áreas desforestadas con la pérdida de suelo, vegetación y fauna (*Pérez Cueva 1994*).

Tras lo expresado con anterioridad, se puede concluir que los regímenes de precipitaciones de la costa valenciana son importantes, con lo que la exposición a los ciclos de humectación-secado que soportan las poblaciones costeras va a influir en los daños de las edificaciones de segunda residencia.

Desde el punto de vista de precipitaciones, se podrían diferenciar varias zonas (CHJ 2014):

- Una primera zona incluiría el litoral situado entre el Sur de Tarragona y Oropesa del Mar. Las precipitaciones anuales se sitúan en el entorno de los 500-600 l/m²
- Una segunda zona sería desde Oropesa del Mar, hasta El Perelló, contando con las llanuras centrales de Valencia y Castellón, en que desciende ligeramente la precipitación anual hasta valores de 400-500 l/m², con un máximo principal en otoño, y otro máximo menos importante en primavera, acompañado de un prolongado periodo seco estival de unos 4 meses. La humedad relativa en época estival es elevada, a causa del régimen de vientos.
- Otra zona, que se extiende hacia el sur hasta Jávea, es más lluviosa, situándose las precipitaciones anuales en la franja 600-800 l/m² debido a la orientación de la costa, casi perpendicular a los flujos, lo que hace que la zona sea proclive a sufrir fenómenos de “gota fría” más pronunciados. El otoño sigue siendo la estación más lluviosa, seguida de la primavera, aunque en este caso los inviernos son más lluviosos que en la zona anterior. La sequía estival sigue siendo muy marcada. Las localidades de Gandía, Pego o Dénia se encuentran en dicha zona.
- La zona situada al norte de la provincia de Alicante, desde el cabo de la Nao hasta la zona fronteriza con Murcia, es la más árida de las cuatro, por el efecto de las temperaturas ligeramente superiores (18°C de media anual) y, sobre todo, de las escasas precipitaciones, que en algunas zonas no superan los 300 l/m² anuales, debido a su posición a sotavento de los flujos mediterráneos.

En cuanto a la humedad relativa, en toda la costa es habitualmente muy elevada durante el periodo estival.

3.3. Ubicación de los edificios

Otro de los factores que influye en el grado de exposición de una estructura de edificación de hormigón armado es la distancia con respecto al mar y la ubicación del edificio en relación a la línea costera.

3.3.1. Distancia al mar de las edificaciones de segunda residencia en la costa valenciana

La influencia de la distancia al mar es un factor clave en el estudio de la agresividad del ambiente marino y del grado de exposición de las estructuras de hormigón armado (Meira et al. 2002, Cheewaket et al. 2012).

La Ley de Costas promulgada por el Estado Español (Real Decreto 1471/1989) supuso un

gran avance en relación a la separación de los edificios con respecto al mar. Se dispuso como limitación que los edificios se debían construir a una distancia de más de 100 metros con respecto de la línea de costa. No obstante, en muchas poblaciones del litoral de la Comunidad Valenciana, se habían construido edificios a mucha menor distancia de la costa, antes de la aparición de esta Ley. Podemos afirmar que, en las poblaciones con tradición turística (o crecimiento urbanístico) anterior a la Ley de Costas, la distancia de los edificios con respecto al mar está, en muchos casos, por debajo del límite de 100 metros.

Es de destacar aquí que, tal y como se ha indicado en el *Capítulo 2*, hay una clara reducción de la salinidad en el ambiente a partir de los 200 metros de distancia a la línea del mar (*Meira et al. 2002, Cheewaket et al. 2012*). Así mismo, a partir de los 100 metros, se produce un cambio sustancial en la pendiente de la curva salinidad/distancia a la costa, pasando a ser mucho más asintótica con la horizontal.

A tenor de lo especificado en los párrafos anteriores, para delimitar el grado de exposición de los edificios con respecto a la distancia a la costa, se divide el estudio en tres franjas:

- 1ª franja: Distancia a la costa entre 0 y 50 metros.
- 2ª franja: Distancia a la costa entre 50 y 100 metros
- 3ª franja: Distancia a costa más de 100

En este sentido, se realiza un análisis de los núcleos urbanos costeros, a partir del estudio de situación de las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar con respecto al mar de estos núcleos urbanos. Este análisis se refleja en la Tabla 3.3, donde se representan los núcleos urbanos atendiendo a la presencia mayoritaria de edificaciones de la tipología analizada, dentro de las franjas descritas anteriormente.

Esta Tabla 3.3 nos permite corroborar que existe un gran porcentaje de poblaciones en donde los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar están ubicados a una distancia del mar menor de 100 metros, con un promedio bastante elevado de núcleos urbanos con predominio de edificios ubicados entre 0 y 50 m. El grado de exposición de los edificios ubicados en esta primera franja se considera elevado.

La segunda franja, entre 50 metros y 100 metros, es una zona con un nivel de exposición elevado. En cambio, a más de 100 metros, la importancia de la exposición decae con respecto a las dos anteriores, como se ha visto en el *Capítulo 2*, exactamente en la Fig. 2.14, en donde se aprecia que a partir de los 100 metros la concentración de cloruros dentro del aerosol marino decae.

Tabla 3.3.

Situación de la edificación de 2ª residencia con respecto a la línea de costa

Provincia	Núcleos urbanos	Entre 0-50m	Entre 50-100m	>100m	Provincia	Núcleos urbanos	Entre 0-50m	Entre 50-100m	>100m
Castellón	Vinaròs		X		Valencia	Xeraco			X
Castellón	Benicarló	X	X		Valencia	Grau de Gandía			X
Castellón	Peñíscola		X		Valencia	Daimús		X	
Castellón	Alcossebre		X	X	Valencia	Guardamar de la Safor		X	
Castellón	Capicorp	-	-		Valencia	Bellreguard			
Castellón	Torreblanca		X		Valencia	Miramar		X	
Castellón	Oropesa del Mar	X	X	X	Valencia	Piles		X	
Castellón	Benicàssim		X	X	Valencia	Oliva			X
Castellón	El Grao			X	Alicante	Molinell		X	
Castellón	Almassora	-			Alicante	ElsPoblets		X	
Castellón	Burriana			X	Alicante	Dénia	X	X	
Castellón	Nules		X		Alicante	Jávea		X	X
Castellón	Moncofa		X	X	Alicante	Benitatxel			
Castellón	Xilxes			X	Alicante	Moraira		X	
Castellón	Almenara		X	X	Alicante	Calpe	X	X	
Valencia	Almardà (Sagunto)			X	Alicante	Mascarat (Altea)	X		
Valencia	Canet d'en Berenguer			X	Alicante	Cap Negret(Alt)	X		
Valencia	Puerto de Sagunto			X	Alicante	Altea	-	-	-
Valencia	Puçol	-	-	-	Alicante	L'Alfàs del Pi		X	
Valencia	El Puig			X	Alicante	Benidorm	X	X	
Valencia	Pobla de Farnals			X	Alicante	La Cala (Vila Joiosa)			X
Valencia	Port Saplaya		X	X	Alicante	La Vila Joiosa	X	X	
Valencia	Pinedo	-	-	-	Alicante	El Campello	X	X	
Valencia	El Saler			X	Alicante	Playa San Juan		X	X
Valencia	El Perellonet		X	X	Alicante	Alicante		X	
Valencia	El Perelló	X			Alicante	Los Arenales	X		
Valencia	Les Palmeres		X		Alicante	Santa Pola			X
Valencia	Mareny de Barraquetes		X		Alicante	Guardamar del Segura		X	
Valencia	Mareny Blau		X		Alicante	Torrevieja		X	
Valencia	Cullera	X	X		Alicante	La Zenia	-	-	-
Valencia	Tavernes de la Valldigna	X			Alicante	Dehesa (Orihuela)			X
					Alicante	Pilar de la Horadada		X	

3.3.2. Situación con respecto a la línea de costa

Como se ha descrito en la introducción de este *Capítulo*, la presencia de obstáculos condiciona el grado de exposición de la estructura. Los edificios que se ubican en primera línea de playa estarán más afectados por la niebla salina (*Meira et al. 2002*). Por lo tanto, para delimitar el nivel de exposición de los núcleos urbanos costeros con respecto a la situación de las edificaciones, es necesario realizar un estudio de la ubicación, que incluya el frente de los edificios de segunda residencia y si este frente está ubicado en primera línea de playa o existen elementos entre las edificaciones y el mar como, por ejemplo, otros bloques plurifamiliares, viviendas unifamiliares, paseos con elementos dotacionales, etc.

En los núcleos poblacionales con el frente edificatorio de segunda residencia ubicado en primera línea, el grado de exposición es mayor que en los localizados en segunda línea, por el efecto de pantalla que producen los primeros edificios. Esta variable también se utiliza para determinar y clasificar el grado de exposición de los núcleos poblacionales en la costa.

Para facilitar este estudio, las edificaciones se han clasificado en función de su situación como:

- Edificaciones en primera línea de playa.
- Edificaciones en segunda línea de playa.

La determinación de la situación de las diferentes poblaciones se ha realizado atendiendo a la situación, dentro de cada núcleo urbano, de las edificaciones de segunda residencia. Cabe añadir que en muchas poblaciones del litoral valenciano, no existe un predominio de esta tipología edificatoria. Es por ello que, para poder realizar esta clasificación, se ha tomado en consideración la presencia o no de edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar en primera o en segunda línea de playa, en las poblaciones de la costa valenciana. Es obvio que la presencia de edificaciones de esta tipología en primera línea lleva implícito, además, que existan en segunda línea.

Atendiendo a las consideraciones descritas en los párrafos anteriores, se ha realizado la Tabla 3.4. En ella se muestra la clasificación de los núcleos poblacionales, en función de esta situación. Se puede apreciar en la misma que existe un número importante de núcleos urbanos en donde existen edificaciones de segunda residencia ubicadas en primera línea de playa.

Tabla 3.4.

Situación de los edificios de 2ª residencia con respecto a la línea de playa

Provincia	Núcleos urbanos	1ª línea	2ª línea	Provincia	Núcleos urbanos	1ª línea	2ª línea
Castellón	Vinaròs	X		Valencia	Xeraco	X	
Castellón	Benicarló	X		Valencia	Grau de Gandía	X	
Castellón	Peñíscola	X		Valencia	Daimús	-	-
Castellón	Alcossebre		X	Valencia	Guardamar de la Safor	X	
Castellón	Capicorp	-	-	Valencia	Bellreguard		
Castellón	Torreblanca	X		Valencia	Miramar	X	
Castellón	Oropesa del Mar	X		Valencia	Piles		X
Castellón	Benicàssim	X		Valencia	Oliva		X
Castellón	El Grao		X	Alicante	Molinell		X
Castellón	Almassora	-	-	Alicante	ElsPoblets	-	-
Castellón	Borriana		X	Alicante	Dénia	X	
Castellón	Nules		X	Alicante	Jávea	X	
Castellón	Moncofa		X	Alicante	Benitatxel	-	-
Castellón	Xilxes		X	Alicante	Moraira	X	
Castellón	Almenara	X		Alicante	Calpe	X	
Valencia	Almardà (Sagunto)		X	Alicante	Mascarat (Altea)	X	
Valencia	Canet d'en Berenguer	X		Alicante	Cap Negret (Altea)	X	
Valencia	Puerto de Sagunto		X	Alicante	Altea	-	-
Valencia	Puçol	-	-	Alicante	L'Alfàs del Pi	X	
Valencia	El Puig		X	Alicante	Benidorm	X	
Valencia	Pobla de Farnals		X	Alicante	La Cala (Vila Joiosa)	X	
Valencia	Port Saplaya	X		Alicante	La Vila Joiosa	X	
Valencia	Pinedo	-	-	Alicante	El Campello	X	
Valencia	El Saler		X	Alicante	Playa San Juan	X	
Valencia	El Perellonet	X		Alicante	Alicante	X	
Valencia	El Perelló	X		Alicante	Los Arenales (Elche)	X	
Valencia	Les Palmeres	X		Alicante	Santa Pola		X
Valencia	Mareny de Barraquetes	X		Alicante	Guardamar del Segura	X	
Valencia	Mareny Blau	X		Alicante	Torrevieja	X	
Valencia	Cullera	X		Alicante	La Zenia (Orihuela)	-	-
Valencia	Tavernes de la Valldigna	X		Alicante	Dehesa (Orihuela)	X	
				Alicante	Pilar de la Horadada	X	

3.4. Edad de las edificaciones

Para poder delimitar las características de las poblaciones de la costa valenciana en relación a los daños soportados por las estructuras de los edificios de segunda residencia, es necesario dedicar un apartado a la edad de los edificios. La edad de los edificios condiciona el estado de los mismos, con lo que es fundamental considerar esta variable dentro del estudio que se está llevando a cabo.

A partir de lo especificado en la Tabla 2.1 del *Capítulo 2*, se han dividido las épocas a analizar, partiendo de los booms inmobiliarios y crisis que ha sufrido el litoral valenciano. Los períodos a analizar son:

- Primer boom inmobiliario, que va desde finales de los años 60, hasta principios de los años 70 (1968-1973).
- Crisis de 1973, que llega hasta principios de los años 80 (1973-1985).
- Segundo boom inmobiliario, de mediados de los años 80 a principios de los años 90 (1985-1992).
- Crisis del año 1992, que llega hasta 1997 (1992-1997).
- Tercer boom inmobiliario, que va desde 1997 hasta el año 2007, donde da comienzo la crisis económica actual (1997-2007).

Aprovechando esta división por épocas, se ha realizado un análisis de los núcleos urbanos costeros, distinguiéndolos en función del global de edificios de segunda residencia construidos en cada período. En la Tabla 3.5 se muestra un listado en el que se indica el período o períodos que predominan en la construcción de las edificaciones de segunda residencia en cada población de la costa valenciana. La clasificación que se muestra en la Tabla 3.5 se ha realizado a partir de los datos extraídos de la Dirección General del Catastro (*Catastro 2015*), en base al año de construcción reflejado en cada ficha.

La Tabla 3.5 nos permite realizar un primer acercamiento a una calificación de las poblaciones del litoral, atendiendo a la antigüedad del parque inmobiliario de segunda residencia en bloque plurifamiliar.

Tabla 3.5.

Período de construcción predominante en las diferentes poblaciones de la costa valenciana

Provincia	Núcleos urbanos	Períodos de construcción				
		1968-1973	1973-1985	1985-1992	1992-1997	1997-2007
Castellón	Vinaròs	X	X			
Castellón	Benicarló		X			X
Castellón	Peñíscola			X		X
Castellón	Alcossebre			X		X
Castellón	Capicorp			X		
Castellón	Torreblanca	X	X	X		
Castellón	Oropesa del Mar			X	X	X
Castellón	Benicàssim	X	X	X		
Castellón	El Grao	X	X			X
Castellón	Almassora	X				
Castellón	Borriana		X			X
Castellón	Nules		X			X
Castellón	Moncofa					X
Castellón	Xilxes					X
Castellón	Almenara					X
Valencia	Almardà (Sagunto)	X		X		
Valencia	Canet d'en Berenguer					X
Valencia	Puerto de Sagunto		X			X
Valencia	Puçol					X
Valencia	El Puig		X			
Valencia	Pobla de Farnals	X	X			
Valencia	Port Saplaya			X		
Valencia	Pinedo		X	X		
Valencia	El Saler		X			
Valencia	El Perellonet	X	X			
Valencia	El Perelló	X	X			
Valencia	Les Palmeres	X	X			
Valencia	Mareny Barraquetes		X			
Valencia	Mareny Blau	X	X			
Valencia	Cullera	X	X			
Valencia	Tavernes de la Valldigna	X	X			X
Valencia	Xeraco			X	X	
Valencia	Grau de Gandía	X	X			
Valencia	Daimús		X			X
Valencia	Guardamar de la Safor					X

Tabla 3.5 (continuación).

Período de construcción predominante en las diferentes poblaciones de la costa valenciana

Provincia	Núcleos urbanos	Períodos de construcción				
		1968-1973	1973-1985	1985-1992	1992-1997	1997-2007
Valencia	Miramar					X
Valencia	Piles					X
Valencia	Oliva		X			X
Alicante	Molinell					X
Alicante	Els Poblets					X
Alicante	Dénia		X			X
Alicante	Jávea		X	X		
Alicante	Benitatxel					
Alicante	Moraira	X				
Alicante	Calpe	X		X		X
Alicante	Mascarat (Altea)					X
Alicante	Cap Negret (Altea)					X
Alicante	Altea	X	X			
Alicante	L'Alfàs del Pi				X	X
Alicante	Benidorm	X	X			
Alicante	La Cala (Vila Joiosa)					X
Alicante	La Vila Joiosa		X			X
Alicante	El Campello	X		X		X
Alicante	Playa San Juan	X	X			
Alicante	Alicante	X	X			
Alicante	Los Arenales (Elche)	X	X	X		
Alicante	Santa Pola		X			
Alicante	Guardamar del Segura		X			X
Alicante	Torre Vieja		X	X		
Alicante	La Zenia (Orihuela)		X			X
Alicante	Dehesa (Orihuela)			X		
Alicante	Pilar de la Horadada		X			X

3.5. Crecimiento urbanístico en la Costa Valenciana

Continuando con el estudio de las variables que influyen en el nivel de exposición de los edificios de segunda residencia de litoral valenciano, a continuación se realiza una aproximación al crecimiento urbanístico de los municipios. Para ello, se van a considerar varios criterios que definan las clases de crecimiento urbanístico sostenido por las diferentes

poblaciones.

3.5.1. Criterio de Tipología de las poblaciones costeras

Uno de los aspectos que determina de qué forma han crecido las poblaciones costeras, es la ubicación de lo que se ha llamado como “núcleo poblacional no estacionario”. Este concepto se define como el conjunto de edificaciones, dentro del municipio, que se consideran de primera residencia y que delimita lo que se conoce como núcleo tradicional. En este sentido, la situación de cercanía o alejamiento de este núcleo de población con respecto a la costa, determina la tipología de las zonas que algunos autores llaman de “Turismo Residencial” (Vera et al. 1995).

En relación con el párrafo anterior, se definen dos tipologías de poblaciones costeras:

- Poblaciones costeras cuyo núcleo poblacional no estacionario está separado de la costa, dejando entre éste y la zona construida de playa una franja libre. Es el caso de, por ejemplo: Torreblanca, Almenara, Canet d'En Berenguer, El Puig, Pobla de Farnals, Tavernes de la Valldigna y Xeraco. En la Fig. 3.4 se aprecia un ejemplo de este tipo de localidad costera.
- Poblaciones costeras con el núcleo poblacional no estacionario en la costa o sin franja libre entre éste y la zona de turismo residencial. Es el caso de, por ejemplo: Peñíscola Benicàssim, Puerto de Sagunto, El Perelló, Cullera, Calpe o Altea. En la Fig. 3.5 se plasma un ejemplo de esta tipología.

Hay, además, poblaciones donde existe un núcleo poblacional no estacionario que no coincide con el núcleo tradicional, como es el caso de, por ejemplo: Alcossebre, Capicorp, Burriana, Moncofa y Miramar. A efectos de esta tesis doctoral, este caso se ha considerado dentro de la tipología de núcleo poblacional no estacionario en la costa.

La delimitación definida permite establecer unas clases de crecimiento urbanístico. En este sentido, dentro del tipo de núcleo poblacional no estacionario en costa, se produce el hecho que, en el ensanche de estos núcleos, predomina la tipología de manzana cerrada con edificación entre medianeras visto en el *Capítulo 2*.

En las poblaciones costeras con el núcleo poblacional no estacionario separado de la costa, se encuentran, mayoritariamente, edificaciones en manzana abierta, sobre todo de tipología en bloque abierto tipo torre o bloque lineal aislado.

A partir de lo descrito en los párrafos anteriores, se realiza la delimitación de los núcleos urbanos en la costa valenciana, que se incluye en la Tabla 3.6.

Con respecto al nivel de exposición al ambiente marino, la posición del núcleo poblacional no estacionario en la costa, genera una alta concentración de edificaciones, produciendo un efecto pantalla que concentra la salinidad del ambiente en esa zona.



Fig. 3.4. Ejemplo de localidad con núcleo poblacional no estacionario separado de costa, en este caso Xeraco.
Fuente: www.googlemaps.com



Fig. 3.5. Ejemplo de localidad con núcleo poblacional no estacionario en costa, en este caso Cullera.
Fuente: www.googlemaps.com

Tabla 3.6.

Ubicación núcleo poblacional no estacionario (NPnE)

Provincia	Núcleos urbanos	Ubicación NPnE		Provincia	Núcleos urbanos	Ubicación NPnE	
		Alejado de costa	Situado en costa			Alejado de costa	Situado en costa
Castellón	Vinaròs		X	Valencia	Grau de Gandía	X	
Castellón	Benicarló		X	Valencia	Daimús		X
Castellón	Peñíscola		X	Valencia	Guardamar de la Safor		X
Castellón	Alcossebre		X	Valencia	Bellreguard		
Castellón	Capicorp	X		Valencia	Miramar	X	
Castellón	Torreblanca	X		Valencia	Piles	X	
Castellón	Oropesa del Mar		X	Valencia	Oliva	X	
Castellón	Benicàssim		X	Alicante	Molinell		X
Castellón	El Grao		X	Alicante	ElsPoblets	X	
Castellón	Almassora	X		Alicante	Dénia		X
Castellón	Borriana		X	Alicante	Jávea		X
Castellón	Nules	X		Alicante	Benitatxel	X	
Castellón	Moncofa		X	Alicante	Moraira		X
Castellón	Xilxes		X	Alicante	Calpe		X
Castellón	Almenara	X		Alicante	Mascarat (Altea)	X	
Valencia	Almardà (Sagunto)	X		Alicante	Cap Negret (Altea)	X	
Valencia	Canet d'en Berenguer	X		Alicante	Altea		X
Valencia	Puerto de Sagunto		X	Alicante	L'Alfàs del Pi	X	
Valencia	Puçol	X		Alicante	Benidorm		X
Valencia	El Puig	X		Alicante	La Cala (Vila Joiosa)	X	
Valencia	Pobla de Farnals	X		Alicante	La Vila Joiosa		X
Valencia	Port Saplaya	X		Alicante	El Campello		X
Valencia	Pinedo			Alicante	Playa San Juan	X	
Valencia	El Saler	X		Alicante	Alicante		X
Valencia	El Perellonet	X		Alicante	Los Arenales (Elche)	X	
Valencia	El Perelló			Alicante	Santa Pola		X
Valencia	Les Palmeres	X		Alicante	Guardamar del Segura		X
Valencia	Mareny de Barraquetes	X		Alicante	Torrevela		X
Valencia	Mareny Blau	X		Alicante	La Zenia (Orihuela)	X	
Valencia	Cullera		X	Alicante	Dehesa (Orihuela)	X	
Valencia	Tavernes de la Vallidigna		X	Alicante	Pilar de la Horadada		X
Valencia	Xeraco	X					

3.5.2. Criterio de Crecimiento cronológico urbanístico

Para poder determinar otro criterio con qué definir el crecimiento urbanístico, es necesario estudiar las modificaciones urbanísticas que han ocurrido en las poblaciones de la costa valenciana desde los años 60. Como hemos visto en *Capítulo 2*, se puede considerar que, en el litoral valenciano, han ocurrido varios crecimientos masivos o booms inmobiliarios, auspiciados por causas muy diversas (*Rodríguez 2006, Burriel de Orureta 2008*).

Gracias al trabajo realizado por otros autores (*Vera et al. 1998*), y a partir de la investigación desarrollada en este trabajo, es posible adelantar cómo se produce el crecimiento y las clases asociadas al mismo, dependiendo de la etapa cronológica en que se ubica la expansión:

- 1ª etapa. Desde finales de los años 60 a principios de los 70. Se caracteriza por pequeños proyectos de urbanización, sobre todo en la zona frente al mar. Se identifica con edificaciones de tipología de bloques de apartamentos aislados, sin parcelas anexas de zonas comunes, o de poca entidad, y por el ensanche típico en manzana cerrada. En esta etapa aún no existía la Ley de Costas (*Real Decreto 1471/1989*), con lo que los edificios, en muchos casos, no cumplen con la separación de 100 metros con respecto al mar, que obliga la normativa posterior. Ejemplos de esta etapa la tenemos en algunos núcleos turísticos denominados tradicionales como son: Cullera, El Perelló, Benicàssim, Oropesa del Mar y Peñíscola.
- 2ª etapa. Desde principios de los 70 hasta mediados de los 80. Esta etapa es de transición, ya que corresponde con el período de crisis. Se sigue manteniendo los mismos tipos de crecimiento y de edificaciones asociadas a la primera etapa.
- 2ª etapa: Desde mediados de los años 80 hasta la crisis de 1991. Se basa en grandes proyectos urbanísticos compuestos por edificios altos de bloque aislado tipo torre o lineal, de gran capacidad de apartamentos. En estos proyectos ya se definen parcelas con una edificabilidad determinada y con gran espacio de zonas comunes anexas. Esta expansión de la zona construida va a ser especialmente frecuente en el litoral valenciano, sobre todo en poblaciones que no habían conocido el boom anterior, como es el caso de: Xeraco, Calpe, Pobla de Farnals, Alcossebre, Torreblanca, etc, y en las poblaciones donde la 1ª etapa no saturó como son: Tavernes de la Valldigna, El Perelló, Oropesa del Mar, Canet d'en Berenguer, etc.
- 3ª etapa: Desde mediados de los años 90 a principio de siglo, la aparición de la LRAU permite macro-urbanizaciones alejadas de la costa y la aparición de grandes zonas urbanizadas aledañas a la primera línea de playa. Se sigue manteniendo la tipología de bloques tipo torre. Esta etapa se da en toda la franja costera, en segunda y tercera línea de playa.

- 4ª etapa: Desde principios del 2002 hasta el 2007. Esta etapa se basa en la construcción de complejos turísticos residenciales de estructuras cerradas, con el objetivo de satisfacer todas las demandas de los residentes. Se caracteriza por una enorme dimensión espacial. Este es el caso de Marina d'Or en Oropesa del Mar y los macro-complejos ubicados al Sur de Alicante.

3.5.3. Criterio de Morfología del crecimiento urbanístico

La morfología del crecimiento urbanístico en las poblaciones del litoral valenciano depende mucho de la forma de la costa. En este sentido, el desarrollo evolutivo de las parcelas se va amoldando a la tipología de playa y costa donde se ubican, con lo que podemos diferenciar dos zonas:

- La zona que denominamos Lineal, que corresponde con la tipología de playa en línea. Esta zona se caracteriza por parcelas rectangulares paralelas a la línea de costa, donde las edificaciones dentro de las parcelas no siguen un patrón definido (Fig 3.6 a).
- La zona que denominamos Adaptada a la Morfología, que corresponde a la zona de costa rocosa o con entrantes y salientes. Esta zona se caracteriza por parcelas irregulares adaptándose a la orografía y con edificios regulares. (Fig 3.6 b).

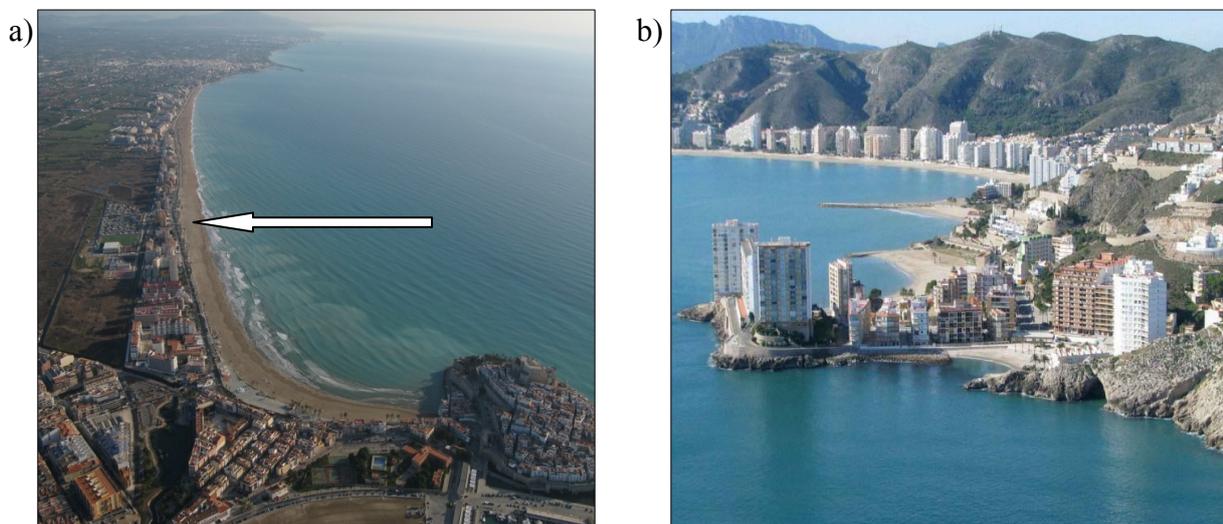


Fig. 3.6. a) Playa norte de Peñíscola y b) zona faro en Cullera. Fuente: web del Ayuntamiento de Peñíscola y Cullera

3.5.4. Clasificación del crecimiento urbanístico de los núcleos urbanos

Una vez definidos los criterios para definir el crecimiento urbanístico a partir de los tipos de

poblaciones costeras y su cronología de crecimiento, dependiendo de las etapas, es posible crear una clasificación de crecimiento urbanístico de los núcleos urbanos costeros del litoral valenciano y delimitar así los mismos atendiendo a la ubicación, morfología y etapa de crecimiento. Para ello, se definen cinco clases de crecimiento urbanístico, dependiendo de las características reflejadas en los apartados anteriores:

- a) Crecimiento de Ensanche. Se trata de poblaciones costeras con núcleo tradicional pegado a la costa. Se caracteriza por disponer edificios entre medianeras de tipología tradicional. Se suelen ubicar en la 1ª y 2ª etapa de crecimiento, ya planteados en el apartado anterior. No suelen disponer de parcelas con zonas comunes y de alturas medias. Dentro de este tipo de crecimiento, se ha dividido la tipología en dos:
 - Crecimiento en manzana cerrada. Como se ha visto en el *Capítulo 2*, este crecimiento se caracteriza por no dejar espacio entre los diferentes edificios, creando un conjunto cerrado. En cuanto al nivel de exposición, la tipología de crecimiento en ensanche es del tipo cerrado, con grandes frentes y compacidad volumétrica que las hace muy vulnerables a la exposición a la salinidad del mar. Este frente produce que las edificaciones dispongan de una fachada muy expuesta. La Fig. 3.7.a muestra este tipo de crecimiento.
 - Crecimiento en manzana de ensanche abierta. Se trata de un crecimiento en ensanche, aunque no se produce un elemento cerrado, sino que se deja espacio entre las edificaciones. Aunque se disponen en manzanas abiertas, con lo que los edificios disponen de cuatro fachadas, las características de exposición son similares a la manzana cerrada. Sin embargo, no se produce la compacidad de esta, pero sí se origina un efecto pantalla, ya que la densidad edificatoria es elevada. La Fig. 3.7.b expone un ejemplo de esta tipología.
- b) Crecimiento Lineal. Se trata de la zona lineal definida con anterioridad, que suele darse, sobre todo, en las poblaciones con el núcleo tradicional separado de la costa o en núcleos urbanos en la zona de no ensanche. Se caracteriza por parcelas independientes rectangulares con bastante espacio para zonas comunes y edificación aislada. Los edificios suelen estar bastante separados unos de otros, de grandes alturas y su morfología es bastante variada dependiendo de la localidad. Este crecimiento se da en, prácticamente, todas las poblaciones costeras. En cuanto al nivel de exposición, este crecimiento permite espacios entre las edificaciones, por lo que no existe la acumulación de salinidad por efecto barrera como en las tipologías anteriores. La Fig. 3.8.a es un claro ejemplo de crecimiento lineal.
- c) Crecimiento Adaptado. Se da en la zona costera cuyas playas tienen entrantes o salientes o en las zonas donde la orografía costera es rocosa. Desde el punto de

vista cronológico se ubican en la 1ª etapa. Suelen ser manzanas irregulares adaptadas al contorno orográfico, con edificaciones altas y con gran compacidad debido a que la orografía hace muy difícil el aprovechamiento del terreno, llevando a la aglomeración de inmuebles en la primera línea de playa. Como se ha visto anteriormente, la ubicación de estas edificaciones, con una distancia cercana a la costa, les produce que su nivel de exposición al ambiente marino sea elevado. La Fig. 3.8.b corresponde a una muestra de crecimiento adaptado.

- d) Crecimiento de macro-urbanizaciones o complejos. Se da prácticamente en todas las poblaciones costeras y se ubica cronológicamente en la tercera y cuarta etapa. Corresponde a complejos con grandes parcelas rectangulares ubicadas generalmente en segunda y tercera línea de playa. Se caracteriza por tener bastantes zonas comunes y edificaciones bajas o medio-altas de viviendas adosadas o bloques lineales largos y bajos. En la figura 3.9 se aprecia un ejemplo de esta tipología.

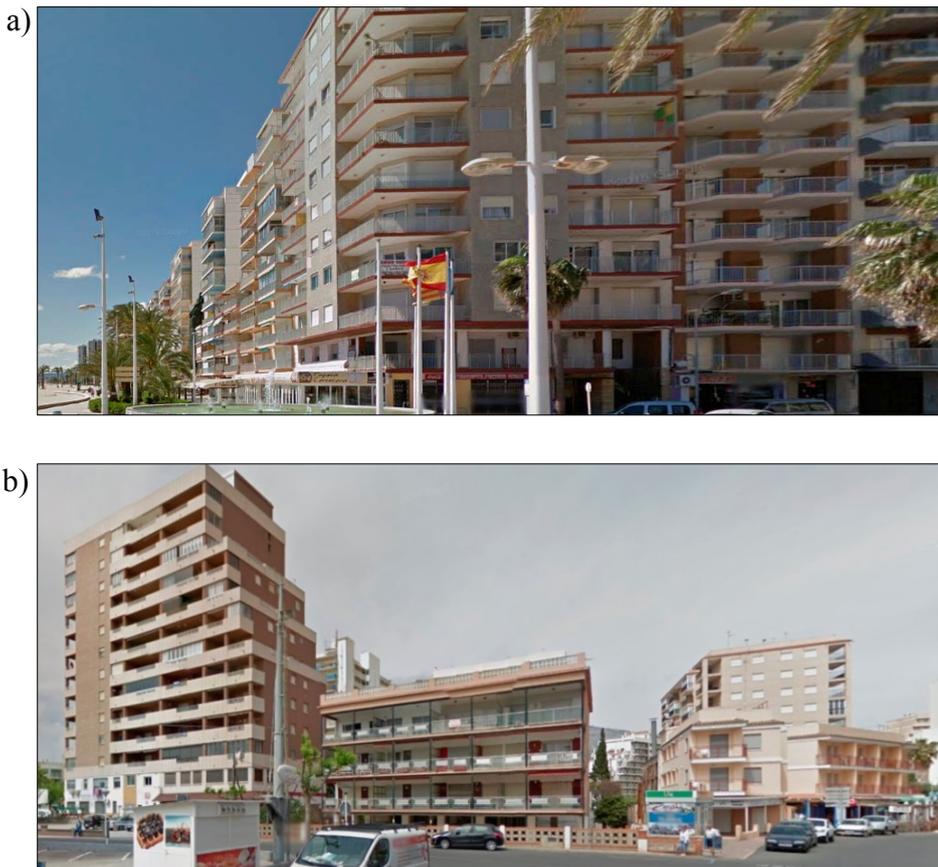


Fig. 3.7. a) Manzana cerrada en la localidad de Cullera y b) Manzana abierta en la localidad de Oropesa del Mar.
Fuente: www.googlemaps.com



Fig. 3.8 a) Crecimiento lineal en la localidad de Benicàssim. Fuente: Ayuntamiento de Benicàssim
b) Crecimiento adaptado de la localidad de Oropesa del Mar



Fig. 3.9 Crecimiento macro-urbanización en Oropesa del Mar. Fuente: web www.marinador.com

Estas tipologías de crecimiento urbanístico nos permiten calificar los núcleos urbanos dependiendo del tipo de crecimiento presente en los mismos. La Tabla 3.7 representa la catalogación de los diferentes núcleos urbanos costeros atendiendo a las tipologías de crecimiento urbanístico descritas en este apartado.

Tabla 3.7.

Clasificación en función de la tipología de crecimiento urbanístico

Provincia	Núcleos urbanos	Tipología ensanche	Crecimiento Urbanístico		
			Crecimiento Lineal	Crecimiento Adaptado	Macro Urbanización
Castellón	Vinaròs	X			
Castellón	Benicarló	X			
Castellón	Peñíscola	X	X	X	X
Castellón	Alcossebre	X	X		
Castellón	Capicorp				
Castellón	Torreblanca	X	X		X
Castellón	Oropesa del Mar	X	X	X	X
Castellón	Benicàssim	X	X		X
Castellón	El Grao	X			X
Castellón	Almassora				
Castellón	Borriana	X			
Castellón	Nules	X			
Castellón	Moncofa	X	X		
Castellón	Xilxes	X	X		
Castellón	Almenara		X		X
Valencia	Almardà (Sagunto)				
Valencia	Canet'd'en Berenguer		X		X
Valencia	Puerto de Sagunto	X	X		
Valencia	Puçol		X		
Valencia	El Puig		X		X
Valencia	Pobla de Farnals		X		X
Valencia	Port Saplaya	X			X
Valencia	Pinedo	X			
Valencia	El Saler		X		X
Valencia	El Perellonet		X		
Valencia	El Perelló	X	X		
Valencia	Les Palmeres	X	X		
Valencia	Mareny de Barraquetes		X		X
Valencia	Mareny Blau		X		X
Valencia	Cullera	X	X	X	X
Valencia	Tavernes de la Valldigna		X		
Valencia	Xeraco		X		
Valencia	Grau de Gandía		X		
Valencia	Daimús		X		

Tabla 3.7 (Continuación).

Clasificación en función de la tipología de crecimiento urbanístico

Provincia	Núcleos urbanos	Tipología ensanche	Crecimiento Urbanístico		
			Crecimiento Lineal	Crecimiento Adaptado	Macro Urbanización
Valencia	Guardamar de la Safor		X		
Valencia	Bellreguard				
Valencia	Miramar		X		
Valencia	Piles		X		
Valencia	Oliva		X		
Alicante	Molinell				
Alicante	Els Poblets		X		
Alicante	Dénia	X	X		
Alicante	Jávea	X	X		
Alicante	Benitatxel				
Alicante	Moraira	X	X		
Alicante	Calpe	X	X	X	X
Alicante	Mascarat (Altea)		X		
Alicante	Cap Negret (Altea)		X		
Alicante	Altea	X	X		
Alicante	L'Alfàs del Pi		X		X
Alicante	Benidorm	X	X	X	X
Alicante	La Cala (Vila Joiosa)			X	
Alicante	La Vila Joiosa	X	X		
Alicante	El Campello	X	X		X
Alicante	Playa San Juan	X	X	X	X
Alicante	Alicante	X			
Alicante	Los Arenales (Elche)		X		X
Alicante	Santa Pola	X	X		
Alicante	Guardamar del Segura	X			
Alicante	Torreveja	X	X		X
Alicante	La Zenia (Orihuela)		X		
Alicante	Dehesa (Orihuela)		X		
Alicante	Pilar de la Horadada	X	X		

El análisis realizado hasta aquí nos permite corroborar la importancia del sistema de crecimiento urbanístico y cronológico en las diferentes poblaciones y su relación con la exposición de los edificios al ambiente marino. Se puede apreciar que, en poblaciones donde se ha producido un crecimiento de ensanche y del tipo adaptado, la distancia a la línea costera

está por debajo de los 100 metros. En contraposición, los núcleos urbanos con crecimientos de macro-urbanizaciones o lineal, suelen presentar un frente expuesto más alejado. Así mismo, en las poblaciones con un crecimiento ubicado en las primeras etapas cronológicas, la distancia al mar de la edificación es menor que en las poblaciones con etapas de crecimiento cronológicamente posteriores.

3.6. Conclusiones relativas al estudio de las características del litoral valenciano

En este *Capítulo* se ha realizado una visión global de los diferentes núcleos urbanos ubicados en la costa valenciana, a partir del estudio de una serie de variables.

Tal y como se ha visto en el *Capítulo 2*, existen una serie de factores externos que condicionan la agresividad de los edificios al ambiente marino. El estudio de las edades de los edificios y el crecimiento urbanístico de las poblaciones son factores fundamentales dentro de la configuración del grado de deterioro que puedan tener los edificios dentro de los núcleos urbanos. Por ello, a partir de una visión general se ha estudiado el régimen de vientos, la orografía, temperatura, humedad relativa y precipitaciones, la distancia al mar, la situación con respecto a la línea de costa, los períodos de construcción y las tipologías de crecimiento urbano.

El estudio del régimen de vientos de las poblaciones de la costa valenciana ha permitido determinar la dirección principal de los vientos, para delimitar si son provenientes del mar o del interior. En este sentido, existe un predominio de viento dominante de componente Este y todas sus variables Este-Noreste, Este-Sureste, Sur-Sureste. En la zona más al norte de la provincia de Castellón, predominan los vientos del Noroeste. En cambio, en la zona centro y sur, predominan los de componente Sur-Este. En el caso de las poblaciones situadas en la Plana de Castellón, los vientos tienen una dirección Este. En la zona de Valencia, existe un predominio de los vientos de componente Este, que son los que provienen del mar. En cambio, en la parte sur de la provincia, tienen componente Sur. Además, se da el hecho de que se produce en esta zona un giro del litoral con orientación norte. En la zona de Alicante, los vientos de componente Sur-Sureste son los que vendrían del mar.

Con respecto a la orografía, la mayoría de los núcleos urbanos están situados en las zonas de planicie. En las poblaciones situadas en zonas donde predomina el marjal, como puede ser, por ejemplo: Torreblanca, Almassora, Almenara, Canet d'en Berenguer, Puçol, Grau de Gandía o Dénia, la exposición al ambiente marino es importante, debido a la presencia de humedad, junto con una exposición al viento elevada. En contraposición, en las poblaciones con serranía se forma un efecto protector de diferentes componentes del viento.

El estudio de la temperatura y el régimen de precipitaciones de las poblaciones costeras han dado como resultado que la temperatura se mantiene en rangos uniformes a lo largo del año en prácticamente todo el litoral. Las precipitaciones son más variables, donde en poblaciones del norte de Castellón se dispone de un régimen de lluvias importante. En cambio, en la costa de la provincia de Alicante, las precipitaciones son más escasas.

En cuanto a la distancia al mar, existen bastantes poblaciones con edificaciones situadas a menos de 100 metros del mar. Como se ha visto en el *Capítulo 2*, la salinidad del ambiente a esa distancia es elevada, provocando un grado importante de exposición sobre los edificios.

El estudio global de la situación con respecto a la línea de costa, ha permitido reflejar que existe un alto porcentaje de edificios en primera línea de playa, con su consiguiente mayor exposición al ambiente marino.

El estudio de los períodos de construcción a partir de los booms inmobiliarios ha proporcionado un agrupamiento por etapas de las diferentes edificaciones, dentro de los núcleos urbanos, para poder realizar una primera clasificación de las poblaciones. Con ello, se ha podido apreciar la existencia de muchos núcleos urbanos donde hay un predominio de edificios construidos en la primera y segunda época y, también, a partir de mediados de los años 90.

A partir de los datos extraídos de la bibliografía sobre el urbanismo en el litoral valenciano, y del estudio planteado en este *Capítulo*, se han podido clasificar las poblaciones según la tipología de crecimiento. Este crecimiento lleva asociada una tipología de edificios o forma de construcción, lo que permite, a partir de sus características, deducir el grado de exposición al ambiente marino.

CAPITULO 4. CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS DE LA TIPOLOGÍA RESIDENCIAL DE SEGUNDA RESIDENCIA EN BLOQUE PLURIFAMILIAR

4.1. Introducción

La vida útil de las estructuras depende, en general, de una serie de factores inherentes al propio material y al proceso de ejecución que, en el *Capítulo 2*, se han definido como factores internos. Un estudio en profundidad de los procesos constructivos seguidos en la ejecución de los edificios ayudará, por tanto, a determinar su incidencia en las manifestaciones patológicas presentes en las estructuras de edificación.

En este *Capítulo* se estudian las características constructivas de los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar en la costa valenciana, a través del análisis de las prácticas habituales de ejecución en cada período temporal, acompañadas del estudio in situ del parque inmobiliario.

4.2. Metodología seguida

El estudio de los sistemas constructivos característicos de las edificaciones de segunda residencia en el litoral valenciano reviste gran complejidad, dada la extensa casuística abordada. Por un lado, la costa valenciana tiene 440 km lineales, con 62 núcleos urbanos y con un parque inmobiliario donde, la mayoría de los edificios, fueron construidos entre los años 1968 y 2007. Además, no es posible disponer de datos oficiales suficientes que puedan dar una visión fidedigna y completa de los sistemas constructivos y estructurales característicos de los edificios.

La complejidad a la que se ha hecho referencia con anterioridad se ha podido subsanar, parcialmente, estableciendo una metodología que ha permitido efectuar el trabajo deseado. Primero se realiza un análisis de las características constructivas comunes de la zona de estudio para, posteriormente, adaptar los resultados a los edificios de segunda residencia de la costa valenciana. Este análisis se ha completado con datos aportados por profesionales de la construcción de las épocas analizadas. Además, se han consultado un total de 100 proyectos de ejecución originales de edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar ubicados en

zonas del litoral. Se contrasta toda esta información mediante el conocimiento de la realidad, a través de un recorrido visual por las diferentes poblaciones presentes en el litoral valenciano.

De los proyectos consultados, únicamente en 43 se ha podido extraer información que resulte útil para el trabajo realizado en este *Capítulo*. Ello es debido a que la mayoría de los proyectos estudiados presenta información incompleta para poder determinar las características constructivas de los edificios, sobre todo en las primeras etapas del estudio (desde finales de los años 60 a mediados de los 80).

Los períodos donde se han estudiado las tradiciones constructivas son los definidos en el *Apartado 3.4 del Capítulo 3*, que se corresponden con los booms inmobiliarios y crisis que ha sufrido el litoral valenciano:

- Primer período, que corresponde al boom inmobiliario que va desde finales de los años 60, hasta principios de los años 70 (1968-1973).
- Segundo período, que comienza con la crisis de 1973, hasta mediados de los años 80 (1973-1985).
- Tercer período, correspondiente al segundo boom inmobiliario, de mediados de los años 80 a principios de los años 90 (1985-1992).
- Cuarto período, que comienza con la crisis del año 1992, hasta finales de los años 90 (1992-1997).
- Quinto período, correspondiente al tercer boom inmobiliario, que va desde 1997 hasta el año 2007, donde da comienzo la crisis económica actual (1997-2007).

4.2.1. Búsqueda de información

Se han consultado las fuentes que se detallan a continuación, discriminando los resultados y adaptándolos a las edificaciones de segunda residencia en la costa valenciana:

- Base de datos del Instituto Nacional de Estadística (*INE 2015*). Desde el año 1992 se lleva realizando por el INE un estudio estadístico de las edificaciones, mediante la *Estadística de la Edificación*, que es una ficha que rellenan los técnicos competentes, de obligado cumplimiento para el visado de los proyectos de ejecución realizados. Los datos aportados por el estudio estadístico han sido, mayoritariamente, información acerca del tipo de estructura y del tipo de hormigón y cemento usado.
- Base de Datos de Inspecciones realizadas por la Dirección General de Arquitectura y Vivienda de la Consellería d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports de la Generalitat Valenciana -actualmente denominada Consellería de Vivenda, Obres Públiques i Vertebració del Territori- (*Consellería d'Obres Públiques, Urbanisme i*

Transport de la Generalitat Valenciana 2015). Proporciona datos sobre el tipo de estructura, tipo de forjado y tipo de hormigón empleado. Debido a la aplicación de la Ley de Protección de Datos, la información recogida no refleja ni la ubicación exacta, ni los datos de los inmuebles inspeccionados. No obstante, ha sido una excelente herramienta para realizar el estudio sobre las características constructivas.

- Consejo Superior de Arquitectos de España (CSAE). Dispone de datos sobre los visados de proyectos desde los años 1960 hasta la actualidad. Aunque hasta la aparición de la *Estadística de la Edificación* no se tenía constancia de la tipología estructural ni del tipo de residencia, permite formar una idea global de las construcciones realizadas en el litoral valenciano, por fechas y localidades.
- Asociación para la Promoción Técnica del Acero (*APTA 2006*) y la Agrupación de Fabricantes de Cemento Españoles (*Oficemen 2013*). Disponen de estudios sobre las soluciones estructurales y constructivas de las edificaciones residenciales e industriales, sobre todo, relativas al uso de acero y del cemento desde el año 1999 y 1994 respectivamente.
- Bases de datos de ayuntamientos. En este caso, se ha permitido, por parte de algunas administraciones locales, el acceso al proyecto original de algunos edificios, donde poder estudiar las variables constructivas. No obstante, como se ha comentado anteriormente, muchos no disponían de la suficiente información. Esta fuente nos ha proporcionado datos muy limitados en cuanto a ejecución de las obras. Al igual que con la base de datos de la Dirección General de Arquitectura, se han omitido la ubicación exacta y los detalles de los inmuebles que puedan estar protegidos por la Ley de Protección de Datos.
- Otras fuentes bibliográficas. Basadas en datos de otros estudios e investigaciones realizados en el litoral valenciano (*Marco 2013, Serrano et al. 2009, etc.*).
- Trabajo de campo. La inspección in situ realizada en diferentes poblaciones del litoral valenciano ha permitido corroborar datos de tipo constructivo, como por ejemplo: tipo estructural, tipos de forjados y voladizos y ubicación de la estructura. Así mismo, ha permitido contrastar los datos generales extraídos de las bases de datos consultadas.
- Entrevistas a profesionales. Ha representado una importante fuente de información para contrastar y completar datos obtenidos por otras vías. Ha supuesto un planteamiento y elaboración enfocada a este trabajo por lo que se estudia con más detalle en el apartado siguiente.

4.2.2. Entrevistas a profesionales de la construcción

Tal y como se ha indicado con anterioridad, se han efectuado una serie de entrevistas a los diferentes agentes de la construcción. En las entrevistas han participado arquitectos, aparejadores, ingenieros, constructores y promotores con una dilatada trayectoria en cuanto a

la construcción de edificios de segunda residencia en la costa valenciana, así como técnicos municipales de varias poblaciones del litoral y empresas de control de calidad. De esta forma, ha sido posible obtener una idea aproximada de las diferentes soluciones constructivas adoptadas.

El perfil de los profesionales entrevistados se ha escogido atendiendo a la época de construcción, con el fin de abarcar los diferentes períodos estudiados. Dentro de las entrevistas, al entrevistado no se facilitaban posibles respuestas, sino que se pretendía obtener una respuesta libre. En la Tabla 4.1 se muestra el cuestionario elaborado.

Tabla 4.1.

Contenido del cuestionario realizado a los profesionales de la construcción

Número	Cuestiones realizadas a los profesionales
Relativas al Acero	
1	¿Cuáles eran los diámetros las armaduras más usuales en esta tipología edificatoria?
2	¿Qué tipo de acero se usaba para las armaduras?
3	¿Cuál era el límite elástico del acero usado en las armaduras?
4	¿Se usaban separadores? ¿De qué tipo?
5	¿Cuál era el recubrimiento mínimo de las armaduras?
Relativas al cemento	
5	¿Qué tipo de cemento se usaba?
6	¿En función de qué variables se elegía el cemento?
7	¿Cuál es el contenido mínimo de cemento usado por m3 de hormigón?
Relativas al proceso de ejecución	
8	¿El hormigón empleado se fabricaba a pie de obra o en central?
9	¿Qué relación agua/cemento (A/C) se empleaba habitualmente? Dosificación del hormigón
10	¿Qué tipo de árido se usaba para la fabricación del hormigón?
11	¿Cuál era la resistencia del hormigón característica más común?
12	¿Según la normativa, con qué exposición ambiental se trabajaba?
13	¿Se usaba vibrador o se vibraba mediante picado con barra?
14	¿Las obras disponían de control de calidad? ¿Se exigía en obra?
15	¿Qué precauciones se tomaban con el curado?

En el *Anexo B* se presenta más información sobre los profesionales entrevistados, su titulación o profesión, el campo en el que ha trabajado, y la zona y época donde ha desarrollado su actividad.

4.2.3. Análisis de los proyectos de ejecución

Como se ha comentado anteriormente, se ha extraído información relativa a las características constructivas de 43 proyectos de ejecución de edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar ubicadas en la costa valenciana, repartidas en los diferentes períodos de construcción contemplados. En el *Anexo B* se presentan un listado de los mismos con todas las características constructivas analizadas.

La información extraída corresponde a:

- Material de la estructura y sistema estructural utilizado.
- Tipo de estructura horizontal.
- Tipo de hormigón utilizado y su resistencia característica.
- Tipo de armaduras utilizado, sus diámetros y tipo de acero empleado.
- Tipo de cemento.
- Recubrimiento de las armaduras.
- Relación agua/cemento (A/C).

Estas variables que, a priori, quedan definidas en los proyectos, deben contrastarse con los datos obtenidos de las entrevistas, puesto que los datos reflejados en los proyectos pueden no ajustarse a lo realmente ejecutado. Como han corroborado algunos de los profesionales consultados, en variables como por ejemplo, la relación agua/cemento, lo especificado en los proyectos no se cumplía en muchos casos, sobre todo en los edificios más antiguos. No obstante, el conocimiento de los datos reflejados en los proyectos es muy útil, dado que permite realizar una comparación por épocas de construcción.

4.3. Características constructivas generales de los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar

En este apartado se pretende exponer las características constructivas generales a toda la costa valenciana, que son perfectamente extrapolables a los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar.

Como han señalado varios entrevistados, los constructores de edificios en la costa valenciana se dedicaban, habitualmente, a la construcción de edificaciones residenciales a nivel local, con lo que exportaron a los edificios de segunda residencia del litoral las características

constructivas y de ejecución típicas de entornos urbanos que ellos ya conocían. Las entrevistas que se han realizado han arrojado datos interesantes acerca de formas de construcción similares, indistintamente de la ubicación del edificio: mismos materiales, mismo tipo de hormigón o misma dimensión de los separadores, sin tener en cuenta el ambiente agresivo donde se ubican los edificios costeros.

4.3.1. Sistemas estructurales. Estructura porticada de hormigón armado versus estructura de acero

Desde que en los años 50 se abandonaran los métodos constructivos tradicionales basados en muros de carga, se fue adoptando, paulatinamente, el sistema estructural porticado. Esto fue así en la construcción de edificaciones de viviendas y, por ende, en los edificios de segunda residencia del litoral valenciano (*Serrano et al. 2009*). No obstante, en las postrimerías de la década de los 60, todavía se pueden encontrar sistemas de tipo mixto pórticos-muros de carga en fachada de edificios entre medianeras.

De los datos extraídos de las inspecciones realizadas por la Dirección General de Arquitectura, después de adaptarlos a las edificaciones ubicadas en la costa valenciana, se ha podido observar que un 74,3% de los edificios están realizados con estructura de hormigón armado. Es necesario subrayar que la inspección se realizó en inmuebles que disponen de una cierta antigüedad, en concreto para edificios comprendidos entre los años 60 y 90.

En las inspecciones in situ realizadas a varias poblaciones, se han encontrado edificaciones cuya estructura es a base de pórticos metálicos, como es el caso de algunos edificios en Cullera, Oropesa del Mar, el Puig y Playa de San Juan. Así mismo, a partir de los datos obtenidos de los proyectos analizados correspondientes al primer y segundo período, se observa que en un 15% de los edificios se emplean sistemas estructurales a base de pórticos de acero laminado. En los primeros períodos de estudio, sobre todo en el primero, las estructuras de hormigón armado convivían con las estructuras metálicas, para el caso de edificaciones con alturas importantes. Este dato ha sido confirmado por los profesionales entrevistados.

A partir de mediados de los años 70, el uso del hormigón armado para la realización de edificios de tipo residencial se sistematizó, debido sobre todo a las mejoras en los métodos de cálculo, que permitían reducir bastante las cuantías de acero en armaduras y las secciones estructurales (*Temes 2008*), incluso para las edificaciones de gran altura.

Datos obtenidos a través de una recopilación documental para épocas más recientes, han corroborado que existe un alto porcentaje de uso de hormigón armado en edificación residencial dentro la costa valenciana. La Fig. 4.1 corresponde a los porcentajes de uso de

hormigón armado o acero laminado en estructuras de edificios residenciales, del año 1999 hasta el 2005. Se puede observar la poca repercusión del acero estructural en la construcción de este tipo de edificios, atendiendo al bajo porcentaje de estructuras de acero laminado con respecto a las de hormigón armado. En el porcentaje de “otras tipologías” se han englobado, entre otros: muros de carga de elementos cerámicos, estructuras de madera, estructuras mixtas, etc. Es necesario señalar que en esta gráfica se incluyen también las edificaciones de tipo unifamiliar. No obstante, es perfectamente extrapolable a la edificación de segunda residencia en bloque plurifamiliar en la costa valenciana, la diferencia existente entre los porcentajes de estructuras de acero y de hormigón armado.

Con respecto a la tipología estructural, el análisis de la información aportada por la inspección de la Dirección General de Arquitectura, las entrevistas y los proyectos, ha confirmado que existe un claro predominio de la estructura a base de pórticos unidireccionales de hormigón armado en las edificaciones de segunda residencia en la costa valenciana. Este hecho ha sido ratificado por la inspección in situ realizada a las poblaciones costeras, en la que se ha apreciado que, salvo en algunas poblaciones de la provincia de Alicante, existe un porcentaje de aproximadamente un 80-85% en el uso de esta tipología estructural. Los sistemas estructurales encontrados que difieren de los pórticos unidireccionales han sido de tipo reticular o de losa maciza (en el caso de la provincia de Alicante).

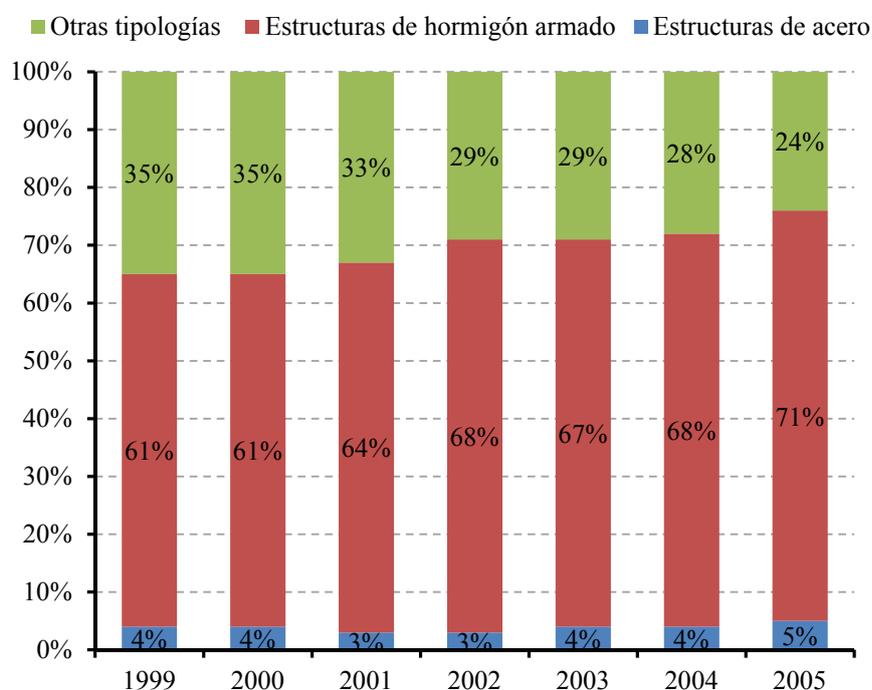


Fig. 4.1. Porcentaje de uso de estructuras de hormigón armado y de acero estructural en edificación residencial desde 1999 hasta 2005, adaptada de los datos extraídos del anuario de la Asociación Para la Promoción Técnica del Acero (APTA 2006)

Tras el análisis de estos datos, se puede concluir que existe un claro predominio de estructuras efectuadas con hormigón armado frente a las de acero. Impera, además, una amplia mayoría de edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar realizadas con el sistema estructural de pórticos unidireccionales de hormigón armado.

4.3.2. Tipologías de estructura horizontal. Forjados, vigas y zunchos de borde

Ya se ha indicado previamente que la tipología estructural más empleada en edificios costeros es la formada por pórticos unidireccionales de hormigón armado. Con respecto a la tipología de vigas, depende mucho del año de construcción del edificio, predominando las vigas descolgadas en las edificaciones del primer y segundo período. También depende de la zona a estudiar y la tradición constructiva como, por ejemplo, en la franja centro de la provincia de Valencia, donde prevalece el uso de la viga de cuelgue frente a la viga plana (Fig. 4.2). En la revisión in situ realizada a diferentes poblaciones, se ha podido constatar la aparición de vigas de cuelgue y ménsulas en las terrazas. Esto se puede justificar por las dimensiones de las terrazas y los voladizos. No obstante, tal y como se ha comentado anteriormente, el desarrollo de los métodos de cálculo de estructuras de hormigón armado trajo consigo la reducción de secciones, con lo que se pudo generalizar el uso de la viga plana a partir de mediados de los años 80, incluso en voladizos. Este dato ha sido verificado por los técnicos entrevistados.

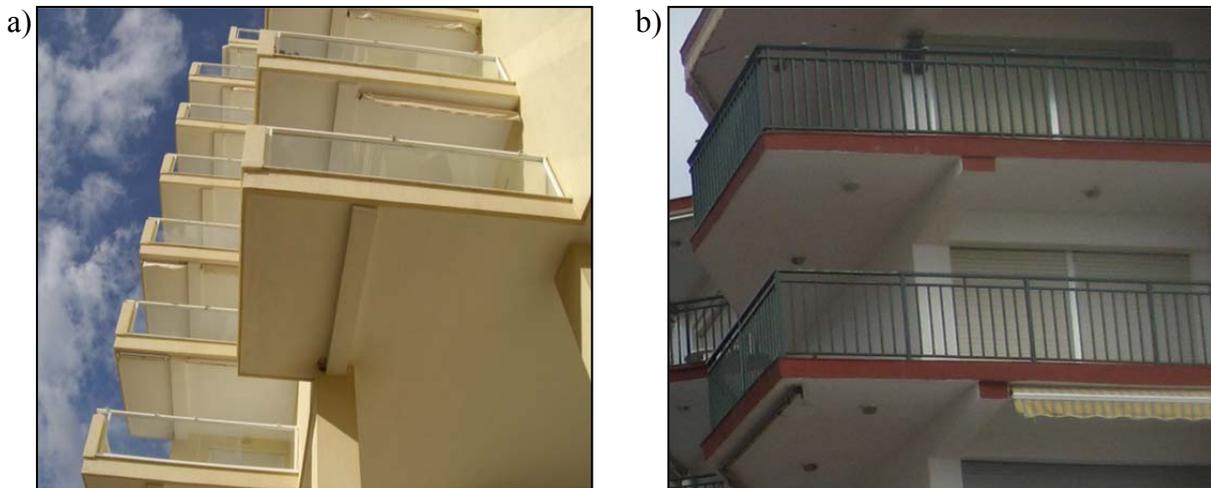


Fig. 4.2. Ejemplos de vigas de cuelgue en terrazas en las localidades de a) Xeraco y b) Tavernes de la Valligna.

En cuanto a la estructura horizontal, los forjados más comunes son los unidireccionales. Predomina el uso de viguetas de hormigón armado (*Serrano et al. 2009*). Es necesario señalar que en el término viguetas de hormigón armado se aglutinan las diferentes clases de viguetas realizadas con este material, tanto las viguetas de hormigón in situ como las viguetas prefabricadas: auto resistentes, semi resistentes, pretensadas y armadas (de zapatilla, por

ejemplo).

Del trabajo elaborado por *Serrano et al. (2008)* (realizado a partir de las inspecciones efectuadas por la Dirección General de Arquitectura), se sabe que en un 77% de los casos se emplean viguetas de hormigón armado. Del filtrado realizado sobre las inspecciones de la Dirección General de Arquitectura para las poblaciones de la costa valenciana, el porcentaje de uso de forjados de viguetas es de un 62,8%, sensiblemente menor al indicado con anterioridad. Esta diferencia puede ser debida a que en el trabajo realizado por *Serrano et al. (2008)* se incluyen viviendas ubicadas en las grandes poblaciones de la Comunidad Valenciana: Valencia, Alicante, Castellón, Elche, etc., en donde el uso de vigueta de hormigón armado estaba más extendido.

En algunos proyectos analizados del primer y segundo período, se han hallado forjados ejecutados con viguetas de acero estructural. En la Fig. 4.3 se puede apreciar un detalle constructivo de un edificio resuelto con estas viguetas. También en la inspección ocular realizada se ha constatado el uso de este tipo de viguetas en algunos edificios pertenecientes al primer período, ubicados en las poblaciones de Peñíscola, Oropesa del Mar, Benicàssim y en Playa de San Juan. En la Fig. 4.4 se observa una edificación con forjados formados de viguetas metálicas.

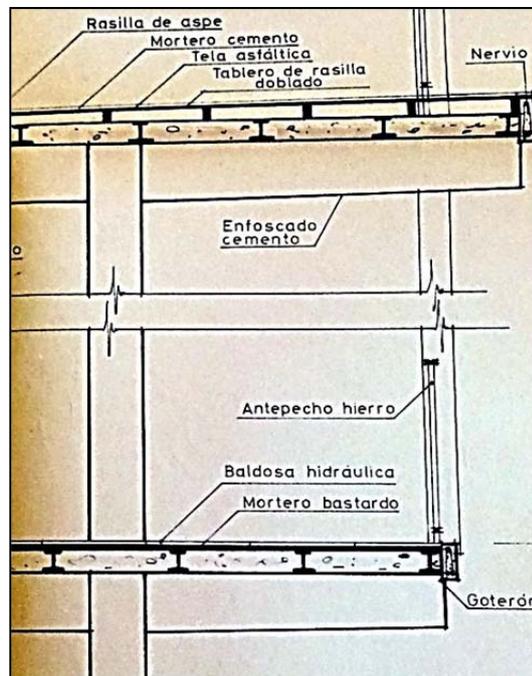


Fig. 4.3. Detalle constructivo de edificio Ed_01-01 resuelto con viguetas metálicas

Con respecto al tipo de viguetas de hormigón armado, el dato extraído de las inspecciones

corroborar que existe un predominio del uso de viga prefabricada en los edificios residenciales de la costa valenciana. En la Fig. 4.5 se presentan los porcentajes, por provincias, de edificaciones con forjados de viga prefabricada. Se aprecia una diferencia sustancial entre las provincias de Castellón y Valencia con respecto a Alicante, donde el uso de este tipo de vigas es mucho menor. Esta diferencia puede ser debida a la presencia de industrias de prefabricados en Valencia y en Tarragona, que posibilitaban un rápido servicio a las obras ubicadas próximas a estas industrias (Marco, 2013). Según la información extraída de las entrevistas, el suministro de vigas prefabricadas en Alicante no era tan rápido, por lo que se optaba por soluciones hormigonadas in situ. Del análisis de los proyectos de los primeros períodos analizados no se han podido extraer datos concluyentes con respecto al tipo de viga de hormigón utilizada en los edificios.



Fig. 4.4. Edificio con forjados a base de vigas metálicas en la población de Oropesa del Mar

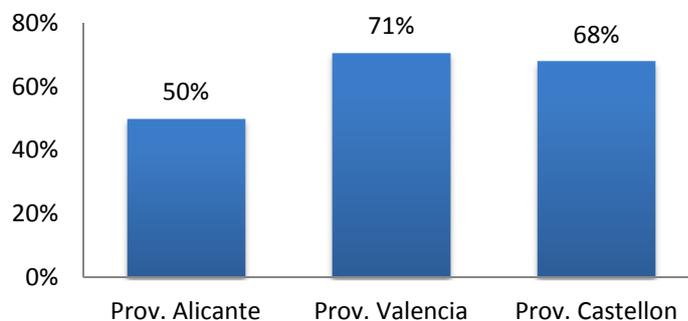


Fig. 4.5. Porcentaje de edificios construidos con vigas prefabricadas, por provincias, según datos de la inspección realizada por la Dirección General de Arquitectura

Para períodos más recientes (períodos cuarto y quinto), tal y como ha ocurrido anteriormente, no se dispone de datos específicos que se puedan asociar al conjunto de edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar. Por ello, la realización del análisis se efectuará extrapolando los datos generales, adaptándolos para la costa valenciana. Los datos analizados son los extraídos de las bases del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2015), corroborado por el estudio de los proyectos y las entrevistas realizadas. En este sentido, se aprecia un aumento del porcentaje de viguetas de hormigón prefabricado frente a las in situ en estos últimos períodos. Según los datos del INE, el porcentaje de uso de las viguetas prefabricadas en edificación residencial es un 75%, frente al 25% de viguetas in situ. Con respecto a los proyectos analizados, confirman el predominio de forjados de viguetas prefabricadas de hormigón armado. No obstante, el porcentaje es más elevado, con un 85% de los proyectos ejecutados con este tipo de viguetas. Con respecto a las entrevistas, todos los entrevistados han coincidido en que, salvo en casos puntuales, las obras realizadas de edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar se han efectuado con viguetas de tipo prefabricado.

A partir de toda la información reflejada en este apartado, se puede concluir que la tipología de vigas depende de los períodos analizados, predominando las vigas colgadas en el primer y segundo período y las vigas planas en los posteriores. Existe un predominio en el uso de forjados de viguetas prefabricadas de hormigón armado en los edificios de segunda residencia en la costa valenciana.

4.3.3. Características constructivas comunes en los edificios de segunda residencia

A continuación, se plantea una visión general de las características constructivas comunes asociadas a los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar. Este análisis es necesario, dada la importancia que tienen las formas de construcción de los edificios a la hora de delimitar las manifestaciones patológicas que puedan aparecer en las estructuras.

El trabajo ha consistido en la búsqueda de patrones constructivos comunes, a través de la inspección ocular realizada a lo largo de toda la costa valenciana, y de la consulta de las fuentes bibliográficas recopiladas.

Un aspecto importante a considerar al tratar el aspecto constructivo de las edificaciones de segunda residencia, es la concepción inicial de estos bloques, dado que parten de la premisa de aprovechar al máximo posible la visión al mar, buscando la orientación que le dé el máximo frente visual posible. Por lo tanto, los edificios se proyectan buscando:

- Visión del mar. Implica grandes zonas expuestas, terrazas voladas y el uso de las cubiertas de los edificios.
- Sistemas de protección solar. Implica el uso de estructuras secundarias y parasoles.

El trabajo de campo realizado ha permitido detectar que estos edificios suelen disponer de grandes alturas para sacar provecho de la edificabilidad de la parcela. Las alturas de los edificios inspeccionados en las poblaciones del litoral valenciano varían desde cuatro alturas, hasta veinte. La Fig. 4.6 representa un edificio característico de esta tipología.



Fig. 4.6. Edificación característica de segunda residencia en bloque plurifamiliar en la localidad de Xeraco

Se ha detectado, además, que no existe un patrón único en relación con las plantas bajas. No obstante, salvo en el primer período, prevalecen las plantas bajas diáfanas, con aparcamientos o con locales comerciales.

En cuanto a los sistemas de construcción, también varían dependiendo del período analizado, aunque siguen un patrón más o menos establecido, entendiéndose como sistema de construcción: “*procedimiento o método de ejecución utilizado para construir un edificio*” (Monjó-Carrió 2005). En este sentido, el sistema constructivo más habitual usado en este tipo de edificación es el conocido como “*tradicional o húmedo*” (Monjó-Carrió 2005). Este procedimiento se basa en la realización in situ de elementos constructivos: tabiques, revestimientos, cerramientos, aislamientos, etc. Prácticamente no se ha constatado la presencia de fachadas ligeras ni sistemas de construcción modulares.

Las fachadas son, en la mayoría de las poblaciones inspeccionadas, de muro doble capuchino de ladrillo hueco. La fachada se apoya sobre la estructura de hormigón: normalmente suele descansar directamente la hoja exterior en el frente de forjado. El recubrimiento de estos

frentes de forjado suele ser directamente un enfoscado de mortero o la colocación de plaquetas cerámicas de 2-3 cm de espesor y posterior enfoscado (Fig. 4.7). La presencia de aislante térmico depende básicamente del año de construcción. A partir de los años 80, se generalizó el uso de aislante en base a la Normativa Condiciones Térmicas en los Edificios, NBE-CT 79 (Real Decreto 2429/ 1979).

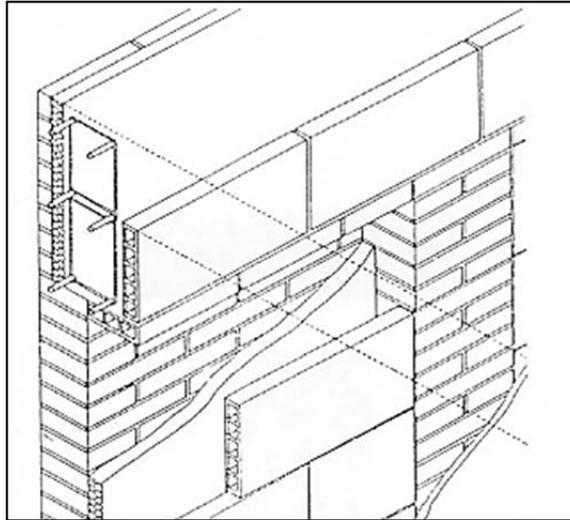


Fig. 4.7. Detalle constructivo de frente de forjado embebido en fachada (Monjó-Carrió 2005)

Con respecto a la terminación exterior de la fachada, predomina el revestimiento monocapa (Fig. 4.8.a) o enfoscado-pintado. Cabe destacar que se han encontrado un número importante de edificios donde se dispone la estructura vista en fachada y plantas bajas, sobre todo, en edificios construidos en el segundo y tercer período (Fig. 4.8.b). Desde el punto de vista arquitectónico, esto último se justifica con el objeto de crear un ritmo a la fachada.

Otra de las características más significativas de los edificios del litoral valenciano son las grandes terrazas. Con el fin de aprovechar y agotar la edificabilidad de la parcela, las terrazas suelen volar con respecto a la fachada (Fig. 4.6 y Fig. 4.8.a). Los frentes de estas terrazas suelen ser los zunchos de terminación del forjado que, en algunos casos, van revestidos con materiales cerámicos o piedra artificial. Habitualmente no se dispone de goterón en la parte inferior del zuncho (Fig. 4.9).

En algunas de las poblaciones analizadas existen edificios que se van retranqueando en altura para generar grandes cubiertas usadas como terrazas, dentro de lo que se conoce como “edificios aterrizados” (Fig. 4.10). Estas cubiertas son mayoritariamente planas y transitables. En la inspección in situ realizada no se han localizado cubiertas inclinadas. Con respecto al sistema de construcción de las terrazas, varía dependiendo de la zona, pasando de cubiertas “a la catalana” (cubierta plana transitable ventilada sobre tabiquillos) a las denominadas

“invertidas” (cubiertas donde el aislante está situado por encima de la impermeabilización). No obstante, todas ellas tienen en común ser de las denominadas “calientes” (Monjó-Carrió 2005); esto es, sin cámara y con una impermeabilización a base de láminas bituminosas.

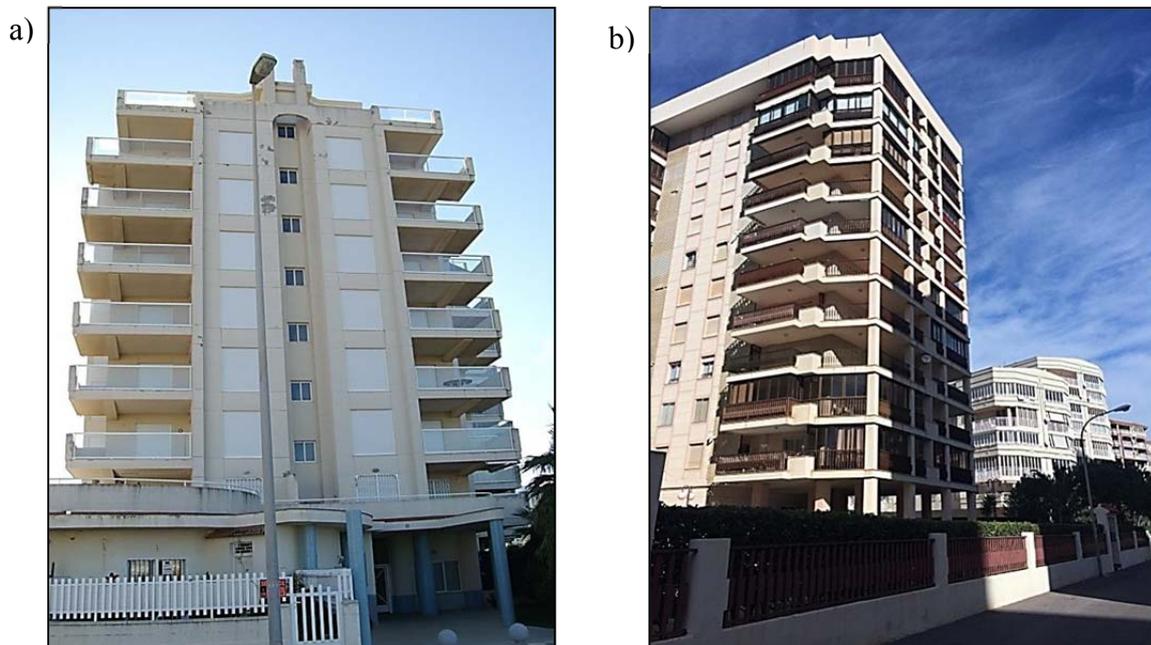


Fig. 4.8. Fachadas de edificios de segunda residencia a) Terminación de la fachada en monocapa, en un edificio ubicado en la población de Xeraco y b) Edificio con estructura en fachada en la localidad de Benicassim



Fig. 4.9. Detalle de frente de terraza donde con ausencia goterón en la localidad de Oropesa del Mar



Fig. 4.10. Edificio aterrazado en la localidad de Oropesa del Mar

4.3.4. Evolución del tipo de cemento, el contenido mínimo y dosificación del hormigón

Como se ha comentado en el *Capítulo 2*, la reserva alcalina que produce el alto grado de basicidad presente en el hormigón, depende, en gran medida, del tipo de cemento y de su contenido mínimo. Por lo tanto, se hace necesario el conocimiento de cómo ha ido evolucionando durante los períodos de construcción analizados. Para ello, se han extraído datos del tipo y contenido mínimo de cemento tanto de las bases de datos (*INE 2015, Oficemen 2004*), como de la bibliografía y de las normativas del hormigón armado. Estos datos se han contrastado con la información facilitada por los proyectos analizados y las entrevistas, a fin de poder adaptarlos a los edificios de segunda residencia de la costa valenciana. Es necesario reseñar que no se dispone de datos oficiales en los primeros períodos estudiados con respecto al tipo de cemento. Por ello, la información ha sido extraída directamente de las entrevistas a los profesionales de la construcción y de los proyectos de analizados.

Según datos facilitados por los profesionales entrevistados, en el primer y segundo período se usaba, prácticamente en la totalidad de las obras de tipo residencial, el cemento Portland. La denominación del cemento estaba contemplada en la Orden sobre Fomento de la Normalización de la Calidad en los Conglomerantes Hidráulicos (*B.O.E. 163/1964*). En esta Orden se clasificaba el cemento, dependiendo de su resistencia a compresión a los 28 días:

P-250, P-350, P-400. P-450, etc.

Los proyectos de construcción analizados suelen definir el tipo de hormigón a partir de su resistencia característica y de la cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón. En este sentido, el cemento usado en los edificios costeros no era diferente a la forma de construcción del momento. En prácticamente la totalidad de los proyectos inspeccionados, suele aparecer el contenido en cemento en kilogramos por metro cúbico. La Fig. 4.11 representa la distribución de proyectos analizados a partir del rango de valores del contenido de cemento que dispone en su memoria.

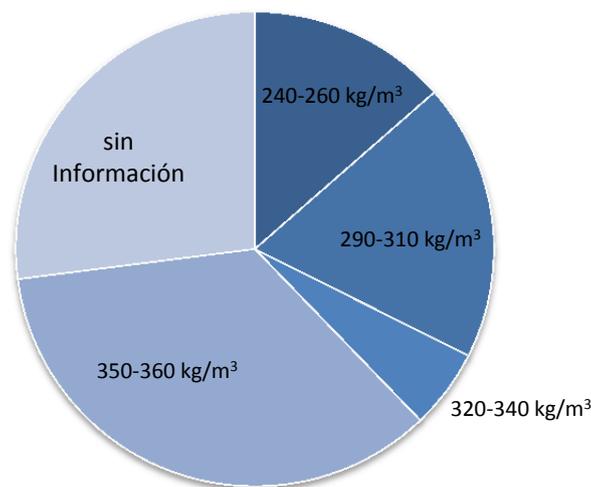


Fig. 4.11. Proyectos analizados con respecto al contenido en cemento por metro cúbico

Según la información obtenida de las entrevistas a los profesionales, a partir del tercer período empieza a ser habitual usar cementos con adiciones. Para poder corroborar esta información, se dispone de datos de la Agrupación de Fabricantes de Cemento en España. En las Fig. 4.12 y Fig. 4.13 se presentan los datos relativos al tipo de cemento y a su resistencia, extraídos del anuario de 2013 de esta Agrupación, con datos que van desde 1994 hasta 2007 (*Oficemen 2013*). Como se puede apreciar, el cemento más usado en estos períodos para edificación es el Tipo II, que corresponde al cemento tipo Portland con adiciones, según la Norma UNE-EN 197-1:2000 (*AENOR 2000*).

Con respecto a la dosificación del hormigón, no se ha encontrado una uniformidad, ya que, como se especificaba en las primeras normas del hormigón armado: “En los casos en que el constructor pueda justificar, por experiencias anteriores, que con los materiales, dosificación y proceso de ejecución previstos es posible conseguir un hormigón que posea las condiciones anteriormente mencionadas, y en particular la resistencia exigida, podrá prescindir de los citados ensayos previos” (*B.O.E. 290/1968*). Muchos de los entrevistados han coincidido en

que en los proyectos se especificaba la resistencia a compresión del hormigón y la consistencia. En los últimos periodos constructivos se indicaba, además, el tipo de ambiente. A partir de estos datos, las empresas suministradoras de hormigón se encargaban de dosificarlo.

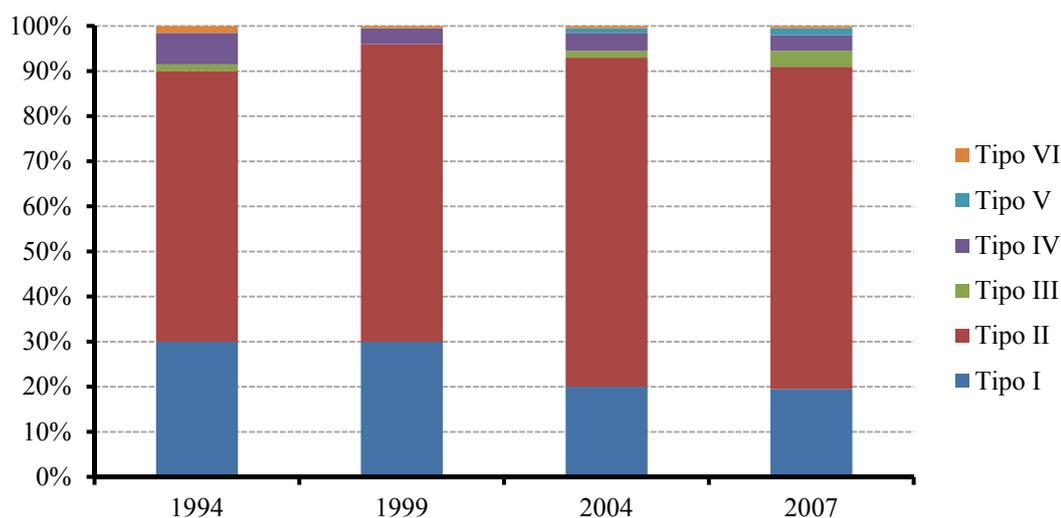


Fig. 4.12. Porcentaje de tipos de cemento usados en el período 1994-2007, adaptado del Anuario del 2013 de la Agrupación de Fabricantes de Cemento en España (*Oficemen 2013*)

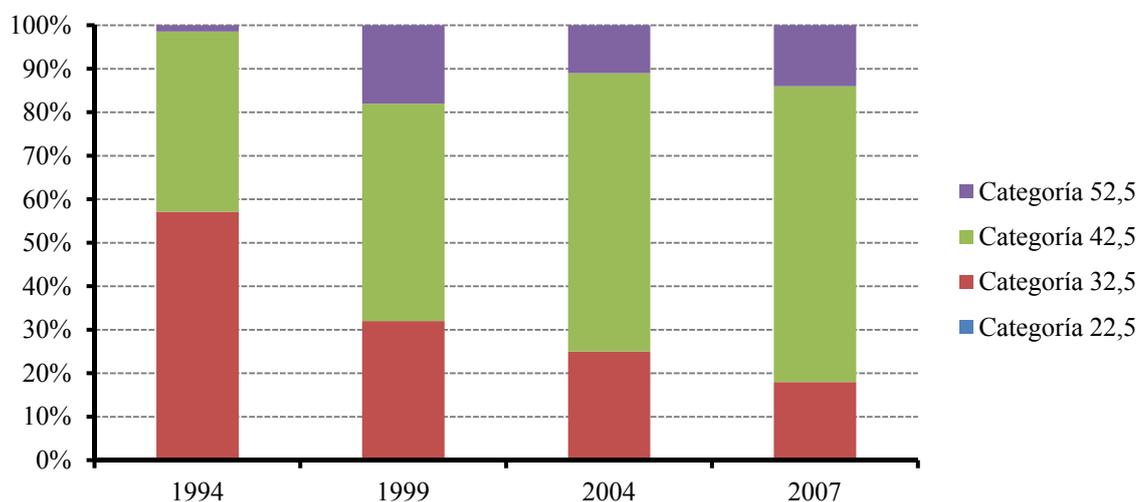


Fig. 4.13. Porcentajes de resistencia del cemento 1994-2007, adaptado del Anuario del 2013 de la Agrupación de Fabricantes de Cemento en España (*Oficemen 2013*)

En el primer período analizado, la dosificación del hormigón se efectuaba en base a las tablas de la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado HA-68 (*B.O.E. 290/1968*). En los anejos de esta norma se incluían unas tablas para la

dosificación del hormigón en función de su resistencia característica, tipo y tamaño máximo de árido, tipo de cemento y grado de compactación. En la Tabla 4.2 y la Tabla 4.3 se pueden observar las dosificaciones necesarias para un tipo de cemento P-350.

Tabla 4.2.

Dosificación del hormigón para un cemento P-350 y árido rodado, adaptada de la HA-68

Resistencia característica en obra (MPa)	Consistencia adecuada para vibrar (en kg y litros)				Consistencia adecuada para picar con barra (en kg y litros)			
	Cemento	Agua	Arena	Grava	Cemento	Agua	Arena	Grava
Tamaño máximo del árido: 20 mm								
6	200	180	690	1.380	230	205	660	1.320
9	240	180	680	1.360	280	205	645	1.290
12	290	180	670	1.340	330	205	630	1.260
15	330	180	655	1.310	370	205	615	1.230
18	370	180	645	1.290	--	--	--	--
Tamaño máximo del árido: 40 mm								
6	175	160	715	1.430	200	185	685	1.370
9	220	160	700	1.400	250	185	670	1.340
12	250	160	690	1.380	290	185	655	1.310
15	290	160	680	1.360	340	185	645	1.290
18	330	160	670	1.340	380	185	630	1.260

Según estas tablas, para conseguir un hormigón con una resistencia de 175 kg/cm² (17,5 MPa), con un contenido en cemento de 350 kg/m³, un tamaño máximo de árido (tipo rodado) de 20 mm y con una consistencia adecuada para vibrar, se necesitaban 180 litros de agua. Esto equivale a una relación agua/cemento (A/C) teórica de 0,51. Recordemos que el hormigón de 17,5 MPa era habitual en estructuras de edificación residencial hasta la aparición de la Instrucción EH-91 (Cobo 2001). En el caso del picado con barra, también habitual en los primeros períodos analizados, para alcanzar una resistencia característica de 175 kg/cm² era necesario aumentar el contenido del agua. Por ello, la relación agua/cemento teórica aumentaba hasta 0,55 o superior. No obstante, todos los técnicos entrevistados coinciden en que la relación agua/cemento teórica era un parámetro que no solía controlarse en la ejecución del hormigón a pie de obra.

La Tabla 4.4 representa la dosificación recomendada en la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado EH-73 (B.O.E. 293/1973), para un cemento del tipo P-350 y árido machacado. La diferencia principal con las normas anteriores radica, sobre todo, en que en la EH-73 se requería de ensayos previos en laboratorio para conseguir la resistencia requerida. Lo mismo ocurría en la siguiente norma, la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado EH-80 (B.O.E. 9/1981).

Tabla 4.3.

Dosificación del hormigón para un cemento P-350 y árido machacado, adaptada de la HA-68

Resistencia característica en obra (MPa)	Consistencia adecuada para vibrar (en kg y litros)				Consistencia adecuada para picar con barra (en kg y litros)			
	Cemento	Agua	Arena	Grava	Cemento	Agua	Arena	Grava
Tamaño máximo del árido: 20 mm								
6	175	200	680	1.360	200	225	650	1.300
9	210	200	670	1.340	230	225	640	1.280
12	240	200	660	1.320	270	225	630	1.260
15	270	200	650	1.300	310	225	620	1.240
18	300	200	640	1.280	340	225	610	1.220
Tamaño máximo del árido: 40 mm								
6	160	180	700	1.400	180	205	675	1.350
9	190	180	695	1.390	210	205	665	1.330
12	220	180	685	1.370	250	205	655	1.310
15	245	180	675	1.350	280	205	645	1.290
18	270	180	670	1.340	310	205	635	1.270
Tamaño máximo del árido: 80 mm								
6	--	--	--	--	160	185	695	1.390
9	165	160	715	1.430	190	185	690	1.380
12	190	160	710	1.420	220	185	680	1.360
15	220	160	700	1.400	250	185	670	1.340
18	240	160	695	1.390	280	185	665	1.330

Como se puede observar en la Tabla 4.4, para poder realizar un hormigón de 17,5 MPa, con cemento P-350 tamaño máximo de árido (tipo machacado) de 20 mm y con la consistencia adecuada para vibrar, son necesarios 365 kg de cemento y 180 litros de agua. Con lo que la relación agua/cemento teórica sería de 0,50. Las dosificaciones descritas en la EH-80 coincidían con las reflejadas en la EH-73.

En la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado EH-88 (B.O.E. 180/1988), ya se disponían unas limitaciones relativas a la relación agua/cemento y al contenido de cemento en el hormigón, en función del ambiente en que se encontrara la estructura. Así mismo, en esta norma se hacía una diferenciación entre el hormigón preparado y el fabricado a pie de obra. Dentro de las características del hormigón preparado, era necesario especificar la resistencia a compresión del hormigón, el contenido mínimo de cemento, la consistencia y la relación agua/cemento. Además, se desaconsejaba el uso del hormigón fabricado a pie de obra. Esto permitió que hubiera un mayor control sobre la dosificación del hormigón. La Tabla 24.4 de la instrucción EH-88 definía la dosificación del hormigón para un ambiente tipo III, con una relación agua/cemento de, como máximo, 0,55, y un contenido de cemento mínimo de 300 kg por cada m³ de hormigón.

Tabla 4.4.

Dosificación del hormigón para un cemento P 350 y árido machacado, adaptada de la EH-73

Resistencia característica en obra (MPa)	Consistencia adecuada para vibrar (en kg y litros)				Consistencia adecuada para picar con barra (en kg y litros)			
	Cemento	Agua	Arena	Grava	Cemento	Agua	Arena	Grava
Tamaño máximo del árido: 20 mm								
5	180	180	695	1.390	210	205	645	1.330
10	255	180	675	1.350	290	205	640	1.260
12,5	290	180	665	1.330	330	205	630	1.260
15	330	180	650	1.300	375	205	615	1.230
17,5	365	180	640	1.280	--	--	--	--
Tamaño máximo del árido: 40 mm								
5	180	160	720	1.440	185	185	690	1.380
10	225	160	700	1.400	260	185	670	1.340
12,5	260	160	690	1.380	300	185	655	1.310
15	290	160	680	1.360	335	185	645	1.290
17,5	325	160	670	1.340	375	185	635	1.270
Tamaño máximo del árido: 80 mm								
5	140	140	740	1.480	165	165	715	1.430
10	200	140	725	1.450	235	165	695	1.390
12,5	225	140	720	1.440	265	165	685	1.370
15	255	140	710	1.420	300	165	675	1.350
17,5	285	140	700	1.400	335	165	665	1.350

La Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado EH-91 (*B.O.E. 158/1991*), supuso un cambio muy importante, con el establecimiento de una resistencia característica mínima a compresión de 25 MPa para el hormigón armado, frente a los 17,5 MPa que se había empleado habitualmente en la costa valenciana desde hacía más de tres décadas.

Como hemos visto, hasta la aparición de la EH-91, para realizar un hormigón de 17,5 MPa, se utilizaba un tipo de cemento de los denominados P-350. Esta denominación correspondía a un cemento de clinker Portland, con una dosificación que estaba entre 300 kg/m³ y 350 kg/m³. Se trataba de un hormigón rico en cemento y con una alta reserva alcalina. Según *Cobo (2001)*, a principios de la década de los años 90, el panorama cambió radicalmente por el avance en la tecnología del hormigón, consiguiéndose resistencias mayores con menor cantidad de cemento. A su vez y el cemento disponía de un menor contenido en clinker, debido al uso de adiciones (*Cobo 2001*). En la Fig. 4.14 se aprecia la evolución del contenido de cemento, quedando de manifiesto lo ya comentado.

La consecuencia de lo expresado en el párrafo anterior ha sido que, entre finales de los años

80 y principios de los 90, se fabricaron hormigones realizados a partir de cementos con adiciones. Estos cementos disponían de un menor contenido de cemento y, por ende, menor reserva alcalina, lo cual pudo influir en el comportamiento de las estructuras de los edificios frente a la corrosión de las armaduras.

Cabe añadir a este apartado que, en un número considerable de edificios construidos entre los años 1950-1970, se utilizó cemento aluminoso (CAC) en la construcción de las estructuras. Según el estudio realizado por *Serrano et al. (2009)*, el 19% de los informes de daños estructurales en la zona de Castellón se correspondían a la aparición de problemas por cemento aluminoso.

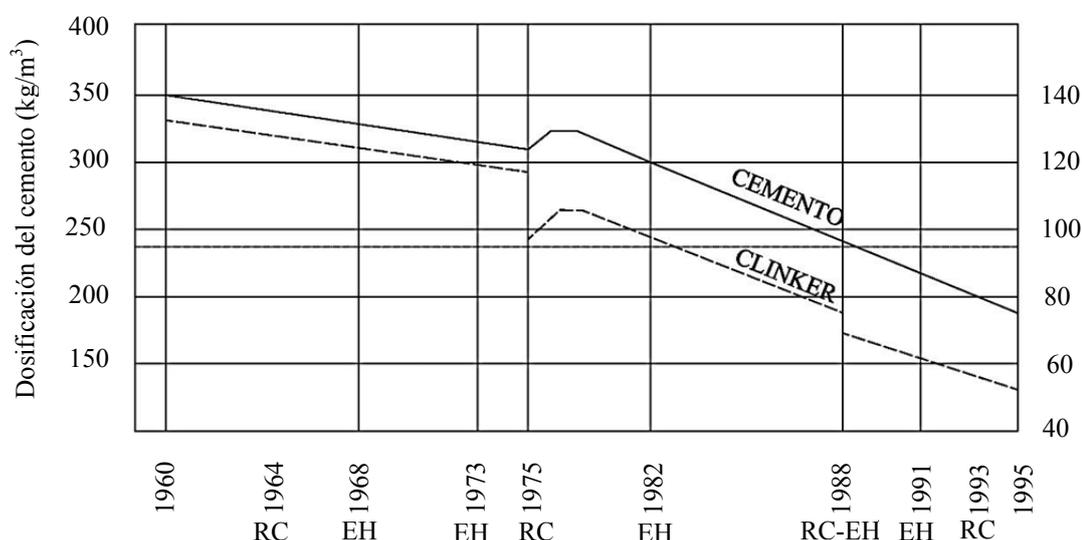


Fig. 4.14. Evolución del contenido de cemento y de Clinker, a través de los años y las normativas de hormigón (EH) y de recepción de cementos (RC), adaptada de *Cobo (2001)*

4.3.5. Recubrimiento de las armaduras

Las diferentes normativas de hormigón armado proponían unos recubrimientos mínimos para las armaduras. Sin embargo, no fue hasta la aparición de la EH-88 cuando se empezó a hablar de las clases de exposición ambiental y de los recubrimientos mínimos acordes a las mismas.

Durante los primeros períodos analizados, las normas de hormigón armado dejaban a criterio del proyectista las medidas de protección a adoptar en ambientes agresivos. En muchos de los pliegos de condiciones de los proyectos inspeccionados, pertenecientes a la primera y segunda época, no se informaba sobre los requisitos que debían cumplir los recubrimientos. Sin embargo, en la revisión de los planos incluidos en estos proyectos se ha podido observar que sí se disponían las secciones en los pilares y vigas, con el recubrimiento de las armaduras

acotado. Como se ha reflejado en apartados anteriores, los datos en los proyectos, sobre todo en estos primeros períodos, puede no coincidir con lo realmente ejecutado.

Como se ha visto en el *Capítulo 2*, no es hasta la aparición de la EH-80 donde se considera, por primera vez, que el agua del mar es químicamente agresiva. En la EH-88 y, sobre todo, en la EH-91, ya se hace la distinción de tipos de ambientes, incluyendo la atmósfera marina como ambiente tipo III (químicamente agresivo). En este sentido, a partir de la Tabla 2.3 del *Capítulo 2*, para un hormigón con resistencia característica de 25 MPa, el recubrimiento mínimo en este ambiente marino es de 35 mm. Una de las preguntas que se formuló a los técnicos entrevistados estaba relacionada con el recubrimiento mínimo propuesto en los proyectos y si se tenía en cuenta la clase de exposición ambiental.

Prácticamente en todos los proyectos analizados (salvo en algunos pertenecientes al último período estudiado), el recubrimiento mínimo especificado es igual o menor de 30 mm. Llama la atención que proyectos posteriores a las normativas EH-88 y EH-91 especificaran un recubrimiento de 30 mm para los elementos estructurales. Según los técnicos entrevistados, esto se debe a que, en muchos casos, se consideraba que la estructura se encontraba en el interior de edificios, con lo que se proyectaba para un grado de exposición tipo II según estas normativas. En la Fig. 4.15 se reflejan los recubrimientos mínimos en proyectos de la primera, segunda y tercera época (anteriores a la normativa EH-88), con los límites manifestados en las instrucciones EH-68 y EH-88. Se puede apreciar que, en los primeros períodos, los recubrimientos especificados en los proyectos eran de 25 y 30 mm.

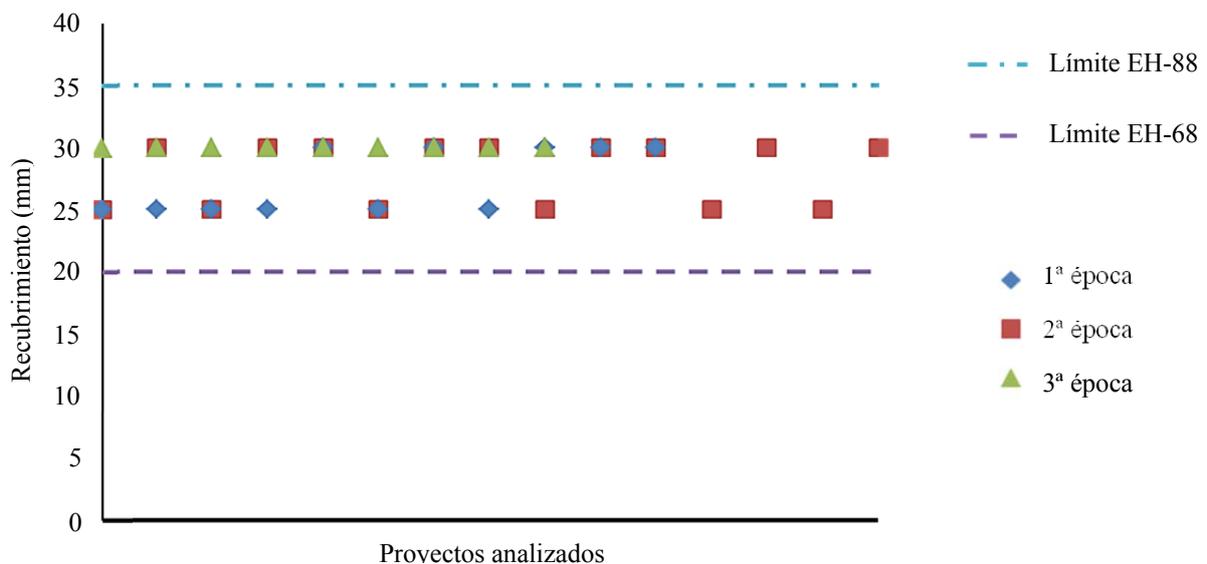


Fig. 4.15. Recubrimientos de las estructuras a lo largo de las primeras épocas en los proyectos estudiados

En varias de las entrevistas realizadas ha quedado de manifiesto que, en las primeras épocas de construcción, no eran habitual el uso de los separadores para limitar el recubrimiento

mínimo de las armaduras. Se solían usar elementos de diversa índole como, por ejemplo, piezas de ladrillo. Este hecho ha provocado que los recubrimientos en las obras no fueran del todo uniformes, sino que variaban incluso dentro de la misma estructura. Además, en muchas zonas de la misma, la armadura perdía buena parte de su recubrimiento, pudiendo quedar a ras de la cara de hormigón, tal y como se aprecia en la Fig. 4.16.



Fig. 4.16. Falta de recubrimiento de una armadura en una viga en un edificio de la localidad de Benicàssim

4.3.6. Resistencia característica del hormigón

Las Tabla 4.5 recoge la resistencia característica a compresión del hormigón a 28 días, obtenida a partir de los proyectos analizados correspondientes al primer, segundo y tercer período. Se indica además la norma del hormigón que le correspondería en función del año de construcción del edificio.

Tal y como se puede apreciar, la resistencia característica del hormigón más usada en los proyectos analizados pertenecientes a los primeros períodos es de 17,5 MPa, corroborando lo señalado por *Cobo (2001)* y por los técnicos entrevistados. Cabe añadir que, como se ha comentado anteriormente, se tenía la dosificación preestablecida que cumplía con la resistencia característica a compresión del hormigón. Con lo que, seguramente, habría una desviación de la resistencia del hormigón final con respecto a las especificadas en los proyectos.

El 100% de los proyectos inspeccionados en la cuarta época disponen de una resistencia característica de 25 MPa. Los entrevistados han ratificado este valor para las edificaciones residenciales, en general, y para los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar,

en particular.

Tabla 4.5.

Resistencia característica a compresión del hormigón de los proyectos analizados del primer, segundo y tercer período, así como la instrucción del hormigón correspondiente

Período	Proyecto	f_{ck}	Instrucción del hormigón correspondiente por año
Primer período	Ed_01_01	15 MPa	HA-61
Primer período	Ed_02-01	-	
Primer período	Ed_03_01	15 MPa	HA-61
Primer período	Ed_04_01	15 MPa	HA-61
Primer período	Ed_05_01	17,5 MPa	HA-68
Primer período	Ed_06_01	17,5 MPa	HA-61
Primer período	Ed_07_01	17,5 MPa	HA-61
Primer período	Ed_08_01	-	-
Primer período	Ed_09_01	15 MPa	HA-68
Primer período	Ed_10_01	15 MPa	HA-68
Primer período	Ed_11_01	17,5 MPa	HA-61
Segundo período	Ed_01_02	17,5 MPa	EH-80
Segundo período	Ed_02_02	15 MPa	EH-68
Segundo período	Ed_03_02	15 MPa	EH-73
Segundo período	Ed_04_02	17,5 MPa	EH-73
Segundo período	Ed_05_02	15 MPa	EH-73
Segundo período	Ed_06_02	17,5 MPa	EH-68
Segundo período	Ed_07_02	17,5 MPa	EH-73
Segundo período	Ed_08_02	17,5 MPa	EH-73
Segundo período	Ed_09_02	17,5 MPa	EH-73
Segundo período	Ed_10_02	17,5 MPa	EH-73
Segundo período	Ed_11_02	17,5 MPa	EH-73
Segundo período	Ed_12_02	15 MPa	EH-73
Segundo período	Ed_13_02	17,5 MPa	EH-73
Segundo período	Ed_14_02	18 MPa	EH-73
Segundo período	Ed_15_02	17,5 MPa	EH-73
Tercer período	Ed_01_03	17,5 MPa	EH-82
Tercer período	Ed_02_03	17,5 MPa	EH-80
Tercer período	Ed_03_03	17,5 MPa	EH-82
Tercer período	Ed_04_03	17,5 MPa	EH-88
Tercer período	Ed_05_03	17,5 MPa	EH-82

Tabla 4.5 (Continuación).

Resistencia característica a compresión del hormigón de los proyectos analizados del primer, segundo y tercer período, así como la instrucción del hormigón correspondiente

Período	Proyecto	f_{ck}	Instrucción del hormigón correspondiente por año
Tercer período	Ed_01_03	17,5 MPa	EH-82
Tercer período	Ed_07_03	17,5 MPa	EH-91
Tercer período	Ed_08_03	20 MPa	EH-91
Tercer período	Ed_09_03	20 MPa	EH-91

4.3.7. Tipo de acero empleado en las armaduras

A continuación se realiza una visión general sobre el tipo de acero usado en las armaduras. Para los primeros períodos del estudio, el análisis de los proyectos y las bases de datos consultadas no han permitido disponer de datos acerca de los tipos de acero empleados para armaduras. En consecuencia, se efectuará esta visión a partir de la información facilitada por la bibliografía general y por los técnicos entrevistados.

En el primer período estudiado no existe un predominio de un tipo concreto de barra de acero, realizándose indistintamente construcciones con barra lisa o con lo que se conocía como Tetracero-42 que “se obtenían por un proceso de torsión y estirado en frío de barras lisas laminadas en caliente de calidad ordinaria” (Calavera 2003). Prácticamente hasta mediados de los 70 (segundo período), el Tetracero-42, que fue muy usado en edificación, dejó paso al Tor-50 (Calavera 2003), que era una barra también trenzada, pero en este caso, ya disponía de corrugas.

A finales del segundo período y principios del tercero, la tipología de barras descrita fue sustituida por las barras corrugadas.

A partir de la norma EH-73 se debía de incorporar la resistencia del acero y la del hormigón a emplear. En los proyectos revisados correspondientes a finales del segundo y del tercer período, el tipo de acero empleado es el denominado por la EH-91 como AEH-400, que dispone de un límite elástico de 4100 kg/cm^2 (400 N/mm^2). Este dato ha sido ratificado por los profesionales entrevistados.

En el último período, además de un cambio de nomenclatura con respecto al tipo de acero, se ha constatado que el acero más usado es el correspondiente a un límite elástico de 500 N/mm^2 (denominado B-500-S según la EHE-98).

4.3.8. Control de calidad de las obras

Un aspecto importante a la hora de determinar las características constructivas de los edificios de segunda residencia en la costa valenciana, es analizar los controles de calidad y de ejecución en las estructuras de hormigón, dentro de los períodos constructivos analizados. Para la realización de este apartado, se ha considerado la información obtenida de las normas de hormigón y de las entrevistas realizadas.

En la primera etapa, las normas no consideraban la realización obligatoria de un control de calidad en las obras. Según los profesionales entrevistados, no eran comunes los ensayos sobre el hormigón, y únicamente se determinaba, a pie de obra, la consistencia con el cono de Abrams. Como indica la bibliografía consultada, hasta prácticamente finales de los años 70 no existían laboratorios específicos de control del hormigón (*Calavera 2003, Marco 2013*).

La EH-73 introdujo un cambio importante en la ejecución de las obras, ya que planteaba la obligatoriedad de realizar un control de calidad en la elaboración del hormigón. Con respecto a la dosificación del hormigón, el control lo efectuaban las empresas suministradoras del hormigón directamente en la central. A partir de mediados del segundo período comenzó el control de la ejecución del hormigón en obra, primero bajo la supervisión y regulación de los Colegios de Ingenieros y Arquitectos y posteriormente por el Colegio de Aparejadores. A partir de finales del segundo período, los laboratorios de control de calidad eran los encargados de realizar los ensayos de resistencia característica del hormigón.

La aparición de la Ley de Control de Calidad, LC-91(*DOGV 1638/1991*) contribuyó al registro y a la verificación de los materiales usados en la obra, poniendo énfasis en el hormigón de central, las viguetas pretensadas, las armaduras y el vertido del hormigón.

4.4. Conclusiones relativas a las características constructivas

El conocimiento de los sistemas de construcción y los procesos constructivos de las edificaciones es necesario para el examen de las manifestaciones patológicas de los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar en la costa valenciana.

Dentro del estudio realizado en este *Capítulo 4*, se ha verificado que la tipología estructural a base de pórticos unidireccionales de hormigón armado es la más usada en los edificios residenciales en el litoral valenciano. En el caso de la estructura horizontal, predomina el uso del forjado plano de viguetas de hormigón armado. Así mismo, el uso de viguetas prefabricadas prevalece sobre las realizadas “in situ”. No obstante, existe una diferencia sensible en el porcentaje de edificaciones efectuadas con viguetas prefabricadas entre las provincias de Castellón y Valencia por un lado y Alicante por otro. Esto puede ser justificado

por la presencia de industrias de prefabricados en la provincia de Valencia y en la provincia de Tarragona.

El uso de vigas descolgadas es común en los primeros períodos analizados. El desarrollo de los métodos de cálculo permitió el predominio del uso de la viga plana en los períodos posteriores, debido a su facilidad constructiva. No obstante, se han encontrado edificaciones de épocas más recientes con vigas de cuelgue o ménsulas para la sustentación de las terrazas voladas, sobre todo en la zona central de la provincia de Valencia.

En cuanto al método constructivo usado en las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar en la costa valenciana, se basa principalmente en la realización in situ de los elementos constructivos: tabiques, revestimientos, cerramientos, aislamientos, etc. Prácticamente no se ha constatado la presencia de fachadas ligeras ni sistemas de construcción modulares. Otra de las características de este tipo de edificios son las grandes terrazas voladas. Los frentes de estas terrazas suelen presentar revestimientos mínimos a base de un enfoscado de mortero o únicamente una capa de pintura.

En los primeros períodos analizados, las normativas del hormigón dejaban al criterio del constructor la dosificación para conseguir la resistencia deseada, si previamente se tenía experiencia en el uso de la misma. No obstante, en los anexos de las normas HA-61 y HA-68 se disponía de unas tablas para la dosificación del hormigón. Esta dosificación se escogía en función de la resistencia característica buscada, tipo y tamaño máximo del árido, tipo de cemento y grado de compactación. En las posteriores normativas del hormigón armado, estas tablas se mantuvieron sin prácticamente variación, hasta la aparición de la EH-91. En los proyectos de estos períodos no suele aparecer ni la dosificación del hormigón, ni la relación agua/cemento.

Acerca del tipo y contenido en cemento, en los primeros períodos analizados, predominaba el uso de cemento de clinker Portland, con un contenido mínimo que iba en función de las instrucciones y en el que predomina una dosificación de 300-350 kg/m³. A principio de la década de los 90, gracias a los avances tecnológicos, aparecieron los cementos con adiciones. A partir de esa época, se generaliza el uso del cemento tipo CEM-II para edificación, por tanto aparecieron hormigones con menor contenido en clinker Portland y menor reserva alcalina.

Con respecto a los recubrimientos mínimos especificados en proyecto, en los primeros períodos se encuentran entre 25 y 30 mm. Este dato ha sido corroborado por los profesionales entrevistados. No fue hasta la aparición de la EH-88 donde se calculaba el recubrimiento mínimo acorde a la clase de exposición ambiental. No obstante, según los profesionales

entrevistados, se consideró que la estructura estaba en el interior del edificio, con lo que el recubrimiento mínimo en proyecto era de 30 mm que corresponde al especificado para ambiente tipo II, según la EH-88.

Otro aspecto importante para poder determinar el recubrimiento es el uso de separadores. Según las entrevistas realizadas, prácticamente no se usaban los separadores reglados en los primeros períodos analizados. Esto ha producido durante muchos años que los recubrimientos no fueran uniformes a lo largo de la estructura.

En relación a la resistencia característica del hormigón armado en proyectos, la más frecuente era de 17,5 MPa, hasta la aparición de la instrucción EH-91. Este dato ha sido corroborado por los profesionales entrevistados y por la bibliografía. En esta normativa EH-91 se estableció una resistencia característica mínima a compresión de 25 MPa. A partir de esta norma, todos los proyectos analizados contemplan una resistencia de 25 MPa.

Respecto del tipo de acero para armaduras, en el primer período estudiado se realizaban indistintamente construcciones con barra lisa o con trenzadas tipo Tetracero-42 que fue muy usado en edificación. A finales del segundo período y principio del tercero, esta tipología de barras fue sustituida por las barras corrugadas. En los proyectos revisados correspondientes a finales del segundo y del tercer período, el tipo de acero presente, es el denominado por la EH-91 como AEH-400, que dispone de un límite elástico de 4100 kg/cm^2 (400 N/mm^2). Este dato ha sido ratificado por los profesionales entrevistados. En el último período, el acero más usado es el B-500-S correspondiente a un límite elástico de 500 N/mm^2 soldable.

Dentro del control de calidad y de ejecución de las obras, la aparición de la instrucción EH-73 trajo consigo la obligatoriedad de realizar un control de calidad de los materiales. En la Comunidad Valenciana, la Ley de Control de Calidad LC-91 contribuyó a tener un registro del control a efectuar en las obras, especialmente de las características del hormigón armado.

Como conclusión principal se puede extraer del trabajo realizado que la práctica constructiva en las obras de edificios ha ido evolucionando en los períodos analizados hacia un control más exhaustivo de las características del hormigón. En los primeros períodos, no existía un control específico al hormigón, tanto en la fabricación como en su puesta en obra. Se dejaba a criterio del constructor la dosificación del hormigón y la ejecución. La relación agua/cemento no era un índice que haya sido controlado ni por las normativas ni por los profesionales presentes en las obras, hasta bien entrado el tercer período. Tampoco a los recubrimientos se les ha dado la importancia que tienen para la durabilidad del hormigón armado.

CAPITULO 5. MANIFESTACIONES PATOLOGICAS MÁS COMUNES Y SUS EFECTOS SOBRE LAS ESTRUCTURAS

5.1. Introducción

En los anteriores *Capítulos* se han analizado las características orográficas y de exposición de los 62 núcleos urbanos estudiados en el litoral valenciano. También se han analizado las características constructivas asociadas a las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar, a través del examen de las prácticas constructivas comunes de la costa valenciana, adaptadas a esta tipología edificatoria.

En este *Capítulo* se pretende, primeramente, realizar un estudio de las manifestaciones patológicas más comunes en las estructuras de las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar en la costa valenciana. Dentro de este trabajo, se determinarán, para cada población seleccionada, el total de edificios de esta tipología afectados de lesiones estructurales y el grado de las mismas. Posteriormente, se clasifican las poblaciones atendiendo a un índice extraído de los niveles de daños del parque inmobiliario de segunda residencia.

Este estudio se efectúa para las poblaciones que, por sus características de exposición y crecimiento, reflejan un porcentaje muy elevado de la casuística en las poblaciones costeras de la Comunidad Valenciana. En el *Capítulo 6*, se justifica con más detalle el criterio seguido para su elección.

5.2. Metodología seguida para el análisis de las manifestaciones patológicas

Para llevar a cabo un estudio de las manifestaciones patológicas en edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar que pueda ser fundamentado, el trabajo se basa en cuatro ejes concretos (Fig. 5.1):

- Búsqueda de información en bibliografía específica y en diferentes organismos oficiales.
- Inspección in situ. Trabajo de campo realizado a partir de un reconocimiento visual de las poblaciones seleccionadas.
- Experiencia de otros profesionales en las obras de intervención estructural y análisis

de proyectos de intervención.

- Comparación de los datos de la inspección in situ con los obtenidos a partir de la experiencia de otros profesionales y de las fuentes de organismos oficiales y bibliografía específica.

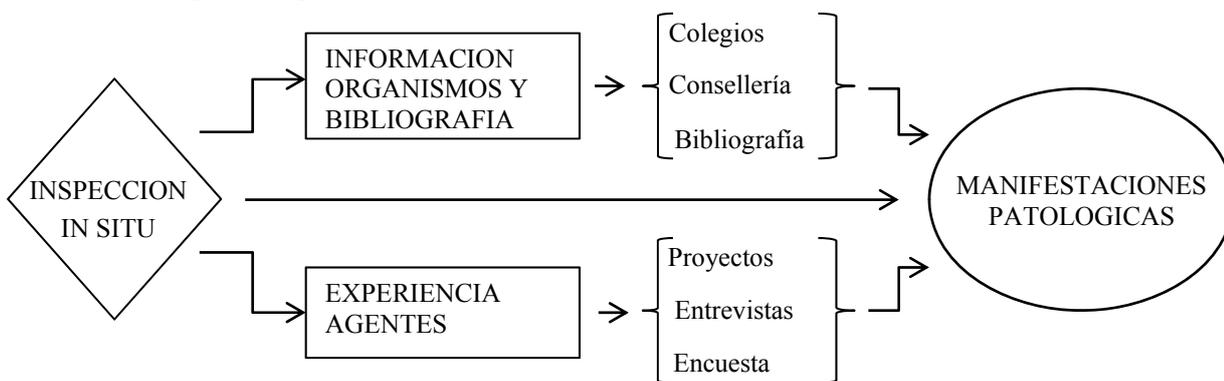


Fig. 5.1. Gráfico esquemático de la metodología propuesta

5.2.1. Primera etapa. Recogida de datos en organismos oficiales

En esta primera etapa se ha realizado una recopilación de los datos existentes en los organismos oficiales sobre reparaciones e intervenciones en edificios de la costa valenciana. Los datos con los que se ha trabajado son los extraídos de:

- Inspecciones realizadas por la Dirección General de Arquitectura y Vivienda de la entonces Consellería d’Obres Públiques, Urbanisme i Transports de la Generalitat Valenciana -actualmente denominada Consellería de Vivenda, Obres Públiques i Vertebració del Territori- (*Consellería d’Obres Públiques, Urbanisme i Transport de la Generalitat Valenciana 2015*). Tal y como se ha manifestado en el *Capítulo 4*, esta fuente ha sido una excelente herramienta que ha permitido obtener datos sobre las manifestaciones patológicas presentes en la Comunidad Valenciana. Se ha filtrado la información para centrarse en los edificios en bloque plurifamiliar ubicados en poblaciones de la costa. La información recogida no refleja ni la ubicación exacta, ni datos de los inmuebles inspeccionados, debido a la aplicación de la Ley de Protección de Datos.
- Colegio Territorial de Arquitectos de Alicante, Castellón y Valencia, con datos del número de proyectos de rehabilitación de las poblaciones seleccionadas, efectuados en los últimos 10 años. Tal y como ocurre con las inspecciones de la Dirección General de Arquitectura y Vivienda, la ley de Protección de Datos no permite reflejar en esta investigación datos relevantes que puedan suponer vulnerar la Ley.
- Base de datos de ayuntamientos. En algunos ayuntamientos se pudo conseguir una

- relación de las diferentes intervenciones estructurales realizadas en su municipio.
- Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de la Comunidad Valenciana. Se solicitó una relación de los estudios de seguridad y salud visados pertenecientes a reparaciones en fachadas, en las poblaciones seleccionadas. Se ha demandado este tipo de información debido a que muchas de las intervenciones de esta clase se gestionaban en los ayuntamientos como obra menor, esto es, sin proyecto de ejecución como tal, aunque sí se obligaba a que se realizara un estudio de seguridad y salud. Así pues, el conocimiento de esta información es necesario para determinar el estado actual del parque inmobiliario.

5.2.2. Segunda etapa. Trabajo de campo realizado

5.2.2.1. Comprobación in situ

La segunda etapa ha consistido en comprobar el estado actual de las estructuras en los edificios, mediante un trabajo de campo consistente en una inspección visual en las poblaciones.

Con ayuda de los planos de las poblaciones seleccionadas en el *Capítulo 6*, extraídos de los Servicios Centrales de la Dirección General del Catastro (*Dirección General del Catastro 2015*), se ha realizado una inspección ocular de todas las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar presentes en estos núcleos urbanos. El objetivo de este reconocimiento visual es detectar, identificar y calificar las lesiones en elementos estructurales. Esto ha permitido la realización de una serie de planos de campo, donde se han plasmado los edificios afectados en las poblaciones analizadas, con toda la casuística posible de lesiones. A través de esos planos de campo, se han podido extraer una serie de datos de tipo estadístico, con el número de edificaciones afectadas, las ubicaciones más comunes de los daños, su tipo e importancia.

Tabla 5.1.

Calificación de los niveles de daño (*IVE 2008*)

Características a estudiar	Nivel 1 Despreciable	Nivel 2 Bajo	Nivel 3 Moderado	Nivel 4 Alto
Ancho de fisuras	Sin Fisuras	< 0,3 mm	≥ 0,3 mm	Desprendimientos
Importancia de la corrosión	Sin corrosión	Corrosión ligera	Corrosión media	Corrosión alta
Pérdida de sección	≤ 1 %	1 % < n ≤ 5 %	5% < n ≤ 10%	>10 %

Para disponer de un criterio cualitativo que permita definir los niveles de daño, se ha empleado el reflejado en la *Guía para la Inspección y Evaluación de estructuras de hormigón en edificios existentes*, de la series Guías de la Calidad del Instituto Valenciano de la

Edificación (IVE 2008). La Tabla 5.1 refleja la calificación de los daños.

5.2.3. Tercera etapa. Experiencia de los agentes intervinientes en las obras de intervención estructural y estudio de proyectos

Una vez realizada la comprobación in situ del estado de las estructuras, se efectúa una corroboración de los datos a partir de la experiencia transmitida por una serie de profesionales en intervenciones de tipo estructural. Para ello, se ha procedido a través de tres caminos:

- Revisión de intervenciones estructurales.
- Realización de una encuesta anónima.
- Entrevistas con profesionales expertos en rehabilitación de edificios.

5.2.3.1. Revisión de intervenciones estructurales

Se pretende estudiar casos y modelos de intervenciones estructurales específicas de la tipología edificatoria objeto de esta Tesis Doctoral, dentro de la Comunidad Valenciana.

Para ello, se analizan las edificaciones presentes en las poblaciones seleccionadas que en los últimos 10 años han tenido algún tipo de reparación o intervención estructural, o que han presentado problemas de lesiones, con el consiguiente proyecto de reparación o rehabilitación. Así mismo, se ha tenido en cuenta las intervenciones de fachada, realizadas a través de licencias de obras menores.

De todos los edificios encontrados con intervenciones estructurales, se ha hecho un filtrado. Este filtrado es necesario, debido a que muchos de los proyectos analizados adolecen de información importante para realizar el estudio.

5.2.3.1.1 Determinación del tamaño de la muestra de proyectos

Se han inspeccionado un total de 100 proyectos de intervención sobre edificios, tanto proyectos facilitados por arquitectos y profesionales de la construcción, como presentes en archivos de los diferentes ayuntamientos de las poblaciones seleccionadas.

Es necesario puntualizar que la muestra no corresponde a todos los núcleos urbanos objeto de estudio, debido a que no se ha podido obtener proyectos en todas las poblaciones. Sin embargo, después de analizar los datos constructivos de los diferentes proyectos estudiados se observa que las características constructivas son similares, por lo que se da por bueno este muestreo. Las poblaciones de las que se han conseguido proyectos para realizar el muestreo están reflejadas en la Fig. 5.2.

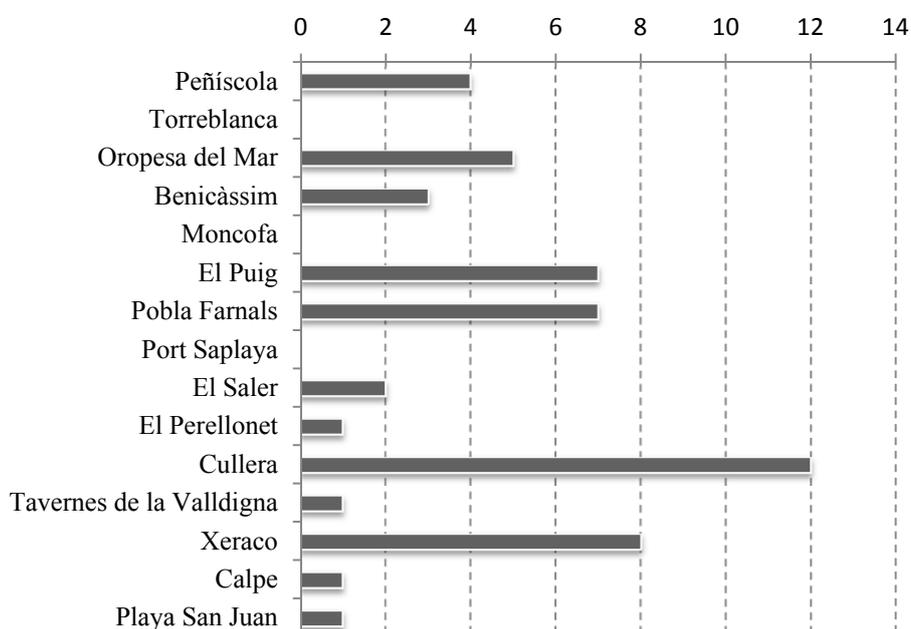


Fig. 5.2. Proyectos de reparación estudiados por poblaciones

5.2.3.2. Encuesta realizada a diferentes profesionales de la construcción

En este apartado, se pretende obtener una visión general, a nivel estadístico, de la experiencia de los profesionales de la construcción con respecto a las manifestaciones patológicas presentes en los edificios de segunda residencia. Para ello, se procedió a la elaboración de un cuestionario con varias preguntas relacionadas con los daños en estructuras y la intervención en edificios de segunda residencia de la costa valenciana.

Lo primero que se definió fue la población objeto del estudio estadístico, entendiendo como tal: “conjunto de los individuos o entes que constituyen el objeto de un determinado estudio y sobre el que se desea obtener ciertas conclusiones” (R.A.E. 2015). En este sentido, la encuesta se dirigió a la población de profesionales de la construcción: arquitectos, arquitectos técnicos, ingenieros, constructores, que han realizado alguna obra de intervención estructural en edificios de segunda residencia en la costa valenciana en los últimos 10 años. También se dirigió a las empresas suministradoras de materiales de reparación estructural.

La encuesta se llevó a cabo por internet, mediante la realización de la misma a través de una aplicación informática en una página web específica para la elaboración de estudios estadísticos y encuestas. En ella se insertaron las preguntas del cuestionario que debían rellenar los profesionales. El cuestionario elegido fue de opción múltiple: se permitía en algunas preguntas dar más de una respuesta.

Para una efectiva difusión entre los profesionales de la construcción, se pidió la colaboración de las diferentes asociaciones que engloban a éstos, como son los Colegios de Arquitectos y de Arquitectos Técnicos de la Comunidad Valenciana, tanto el de la provincia de Valencia, como los de Castellón y Alicante, así como asociaciones de constructores y empresas de materiales específicos para reparación. La colaboración consistió en el envío de un enlace a la página web que contenía el cuestionario, insertado en las notificaciones que remiten a sus asociados mediante correo electrónico. Además, se creó un grupo de manifestaciones patológicas en una conocida red social de técnicos. En total, el volumen de la muestra de población fue de 100 individuos.

Tabla 5.2.

Encuesta realizada a diferentes profesionales de la construcción

Numero	Cuestionario	Opciones
1	Tipo de Agente que intervienen	Arquitecto Arquitecto técnico Constructor Otros
2	Número de intervenciones por agente	Una Entre una y cinco Más de cinco
3	Tipo de intervenciones	Reparación/Intervención de fachada Intervención en pilares Intervención en forjados y vigas Otros
4	Ubicación de la intervención	Fachada Sótano Planta Baja Planta Pisos Cubierta
5	Sistema de intervención	Reparación Refuerzo Sustitución
6	Causas de la intervención	Oxidación de armaduras por carbonatación Oxidación de armaduras por ion cloruro Presencia de cemento aluminoso Otros

En cuanto al contenido de la encuesta, para que la muestra fuera realmente de agentes que han participado en intervenciones estructurales en estos últimos 10 años en edificaciones de segunda residencia en la costa valenciana, primero se realizó una selección de los encuestados. Esta selección se efectuó mediante las respuestas dadas a las primeras preguntas, en donde debían indicar la rama profesional a la que pertenecían y si habían realizado alguna clase de intervención en edificios de esta tipología. A partir de esta distinción, el volumen de la muestra se redujo a una población de 66 individuos. Posteriormente, se preguntaba por el tipo de intervención estructural, las lesiones detectadas y su ubicación. Una vez definida y situada la manifestación patológica, se preguntaba por la causa más probable, bajo su opinión, que la hubiera causado. El cuestionario se elaboró de manera que facilitara, en la medida en que una encuesta de estas características lo permite, la respuesta de los encuestados. La Tabla 5.2 refleja el cuestionario planteado.

La encuesta fue totalmente anónima, por lo que no se dispone de los datos personales de los encuestados, únicamente se les preguntó por la clase de profesional de la construcción al que pertenecían.

5.2.3.3. Entrevistas con profesionales de la rehabilitación

Se realizaron varias entrevistas con profesionales expertos en la rehabilitación de edificios. En este caso, las entrevistas únicamente se realizaron a los agentes que habían trabajado en intervenciones sobre edificios de segunda residencia de bloque plurifamiliar en los últimos años, o que en el momento de la realización de este trabajo estuvieran involucrados en algún trabajo de esta índole.

La ventaja de las entrevistas directas con respecto a la encuesta es que la información que se obtiene es generalmente rica y abundante, aunque es necesario un filtro de las respuestas dadas, ya que dependen de una subjetividad innata a la personalidad de los participantes (*Ortega 2012*).

Los agentes de la construcción entrevistados pertenecían a diferentes profesiones, aunque predominaban sobre todo arquitectos y arquitectos técnicos. En general, se escogió a profesionales que hubieran trabajado en las poblaciones analizadas. En este caso, aprovechando la inspección in situ realizada, se efectuó una consulta individual a cada uno. En la Fig. 5.3 se representa el número de profesionales a los que se entrevistó, en función de la población donde, principalmente, habían desarrollado su actividad.

Con respecto a las cuestiones planteadas a los profesionales, se referían, sobre todo, a datos sobre los proyectos de intervención que habían realizado:

- Tipos de ensayos efectuados para conocer la causa de los daños.
- Manifestaciones patológicas presentes en los edificios intervenidos.
- Causas que las provocaron.
- Ubicación de las mismas.
- Tipos de reparaciones efectuadas más comunes.
- Tipos de refuerzos estructurales, en el caso de haberlos necesitado.



Fig. 5.3. Número de los profesionales entrevistados por cada población en donde principalmente han desarrollado su trabajo

5.3. Datos del estudio de campo realizado

A continuación se presentan los datos recogidos en la inspección ocular realizada en las poblaciones seleccionadas para el estudio.

5.3.1. Porcentaje de edificaciones con daños

La Tabla 5.3 refleja el número de edificaciones, por poblaciones, que presentan algún tipo de daño estructural, así como el porcentaje con respecto al total. Es necesario aclarar que en esta

fase del trabajo no se han distinguido las lesiones según su importancia.

Tabla 5.3.

Total de edificios que presentan daños y su porcentaje sobre el total en las poblaciones seleccionadas

Núcleos poblacionales	Edificios estudiados	Edificios que presentan daños	Porcentaje de edificios con daños
Peñíscola	122	49	40,0%
Torreblanca	46	18	39,0%
Oropesa del Mar	147	50	34,0%
Benicàssim	211	80	38,0%
Moncofa	240	48	20,0%
El Puig	29	14	48,0%
Pobla de Farnals	65	39	60,0%
Port Saplaya	49	29	59,0%
El Saler	20	17	85,0%
El Perellonet	43	24	55,8%
Cullera	250	79	31,6%
Tavernes de la Valldigna	171	72	42,1%
Xeraco	123	32	26,0%
Calpe	158	55	34,8%
Playa San Juan	162	46	28,4%

Como se puede observar, en las poblaciones analizadas existe un importante número de edificios de segunda residencia afectados por algún tipo de daño estructural. De los 1.836 edificios de esta tipología presentes en estos núcleos urbanos, 652 presentan lesiones. Tomando como referencia el porcentaje reflejado en la Tabla 5.3, se realiza la Fig. 5.4, en donde se representan estos porcentajes, por poblaciones.

Tal y como se aprecia en la Tabla 5.3 y en la Fig. 5.4, existen poblaciones con una proporción muy elevada de edificios con daños, como es el caso de Pobla de Farnals, Port Saplaya, El Saler y el Perellonet, donde el porcentaje de edificios con daños sobrepasa la mitad del total de los edificios existentes en la población. En general, salvo en la localidad Moncofa, los edificios con daños superan el 25-30% del total de edificios de cada población.

Es evidente que existe una relación directa entre la antigüedad del parque inmobiliario de los núcleos urbanos, con el porcentaje de edificios afectados por lesiones de cualquier tipo en las estructuras. Tal es el caso de Peñíscola, Pobla de Farnals, el Perellonet, Cullera y Playa San Juan.

También cabe destacar el porcentaje de edificios con daños en El Saler, donde se supera el

80%. Este dato se podría justificar atendiendo a las características especiales de este núcleo urbano, en donde el Ayuntamiento de Valencia no había permitido, hasta ahora, ninguna clase de reparación o rehabilitación de los edificios, al encontrarse éstos en zona de parque natural protegido.

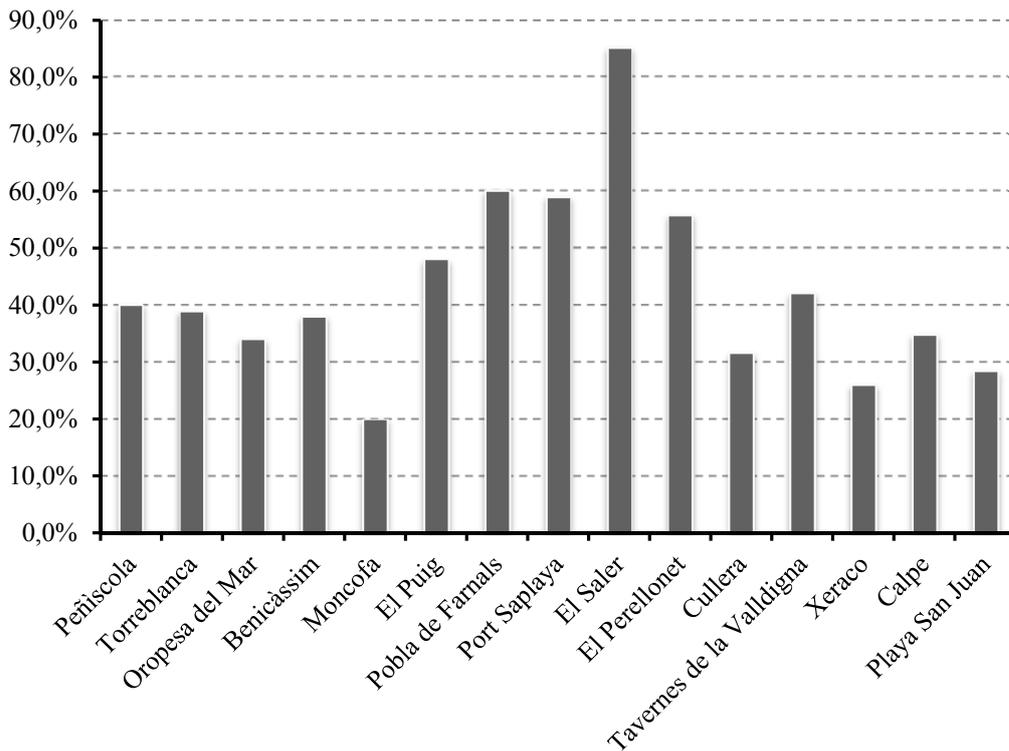


Fig. 5.4. Porcentaje de edificios con patologías estructurales en las poblaciones seleccionadas

Así mismo, el caso de Port Saplaya también es significativo. El porcentaje de edificios con daños es del 59,0%, muy similar al reflejado para Poble de Farnals y El Perellonet. Las edificaciones en Port Saplaya se construyeron en la misma época, concretamente en el tercer período, según la división de épocas realizada en el *Capítulo 3*. Por ello, el parque inmobiliario no es excesivamente antiguo, en comparación con el parque de las otras dos poblaciones. No obstante, los edificios en Port Saplaya están ubicados en primera línea de playa y a una distancia menor de 100 metros del mar, con lo que se podría justificar, en parte, el porcentaje indicado. También se puede justificar atendiendo a la morfología propia de la urbanización: la clase de crecimiento urbanístico de este núcleo urbano es el definido en los anteriores capítulos como ensanche en manzana cerrada. Esto implica que dispone de una fachada mucho más expuesta que las otras.

También es importante destacar localidades como El Puig y Tavernes de la Valldigna, donde el porcentaje supera el 40%. En estos núcleos poblacionales el crecimiento a nivel urbanístico se desarrolló entre el segundo y tercer período, con lo que disponen de una antigüedad

elevada. En el caso de Moncofa, el dato de la proporción de edificios afectados por lesiones estructurales es del 20,0%, pudiéndose considerar como alto, debido a la poca antigüedad de los edificios existentes.

5.3.2. Ubicación de los daños

La ubicación de los daños estructurales, dentro del edificio, se ha dividido en tres grandes grupos:

- Frentes de forjado
- Vigas
- Pilares

Es necesario puntualizar que en la definición de frentes de forjado se incluyen los zunchos del borde de forjado, las vigas planas (si la estructura está en la línea de fachada) y las terrazas. En la Fig. 5.5 se aprecian las diferentes situaciones descritas al hablar de frentes de forjado.

En la Fig. 5.6 se presentan los resultados sobre la ubicación de los daños, a partir las inspecciones realizadas. Los datos se disponen en porcentajes, para una mayor comprensión de los mismos. Como se puede apreciar, queda de manifiesto el predominio de los frentes de forjado como ubicación preferente de las lesiones, en relación a los daños presentes en vigas y pilares. En muchas de las localidades estudiadas, el porcentaje de este tipo de lesión supera el valor del 75%.

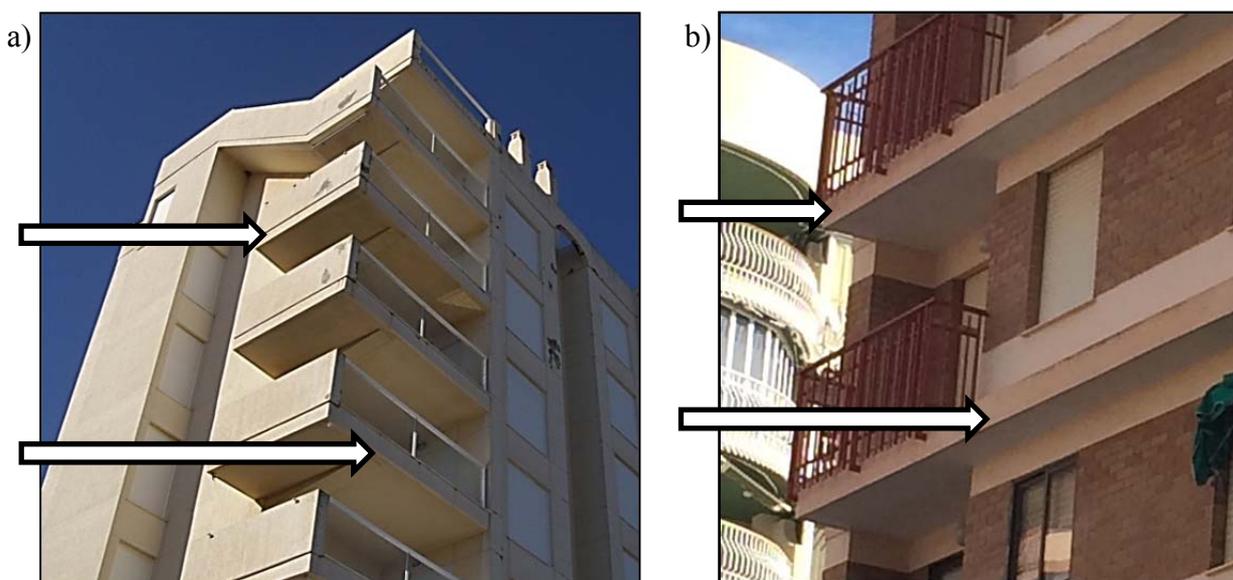


Fig. 5.5. Diferentes concepciones de frente de forjado a) frente de terrazas en la localidad de Xeraco y b) viga en línea de fachada y terraza ubicada en la localidad de Benicàssim

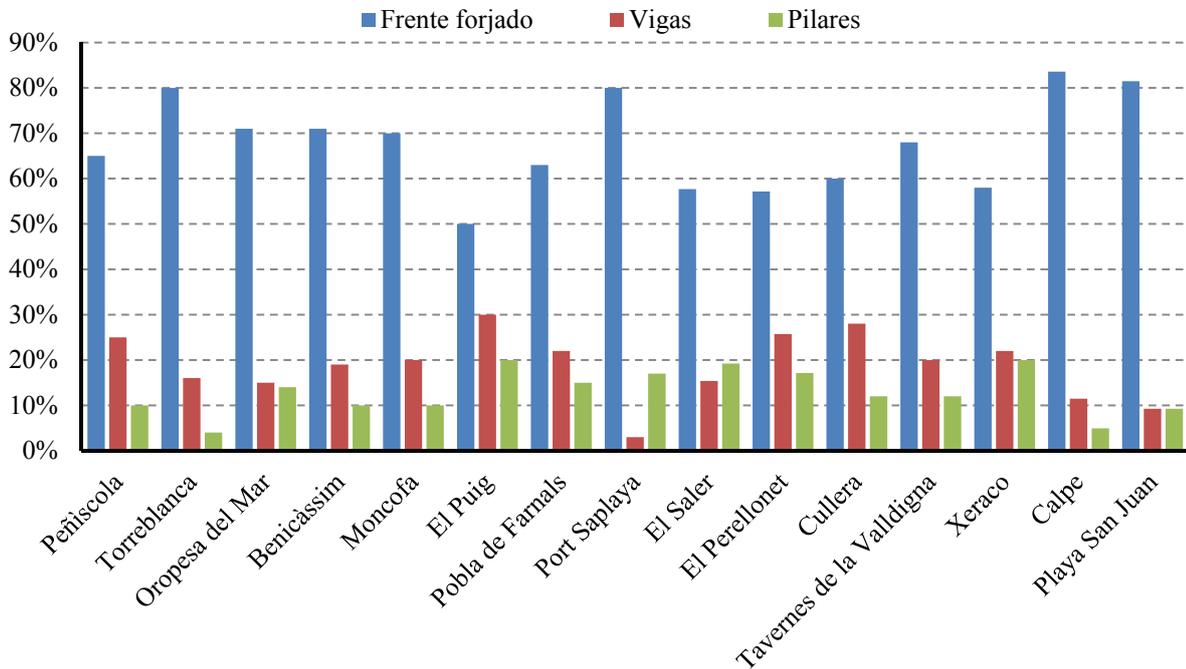


Fig. 5.6. Ubicación de los daños en los edificios, en cada una de las poblaciones seleccionadas

La principal manifestación patológica en los frentes de forjados suele ser a base de fisuras o grietas siguiendo una directriz horizontal recta, en algunos casos con pérdida de material del recubrimiento. Este tipo de lesiones se han detectado, mayoritariamente, en las terrazas, así como en los zunchos de borde que sobresalen de la línea de fachada. En la Fig. 5.7 se ilustra dos ejemplos de lesiones en frente de forjados.

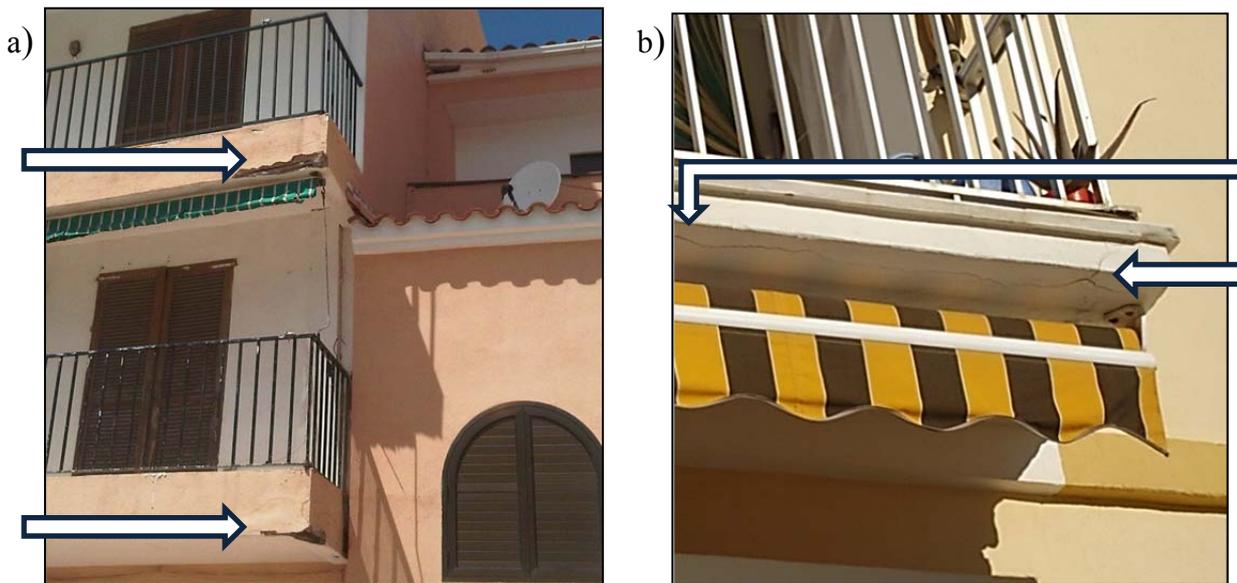


Fig. 5.7. Lesiones en los frentes de forjado en terrazas: a) desprendimientos y b) grietas

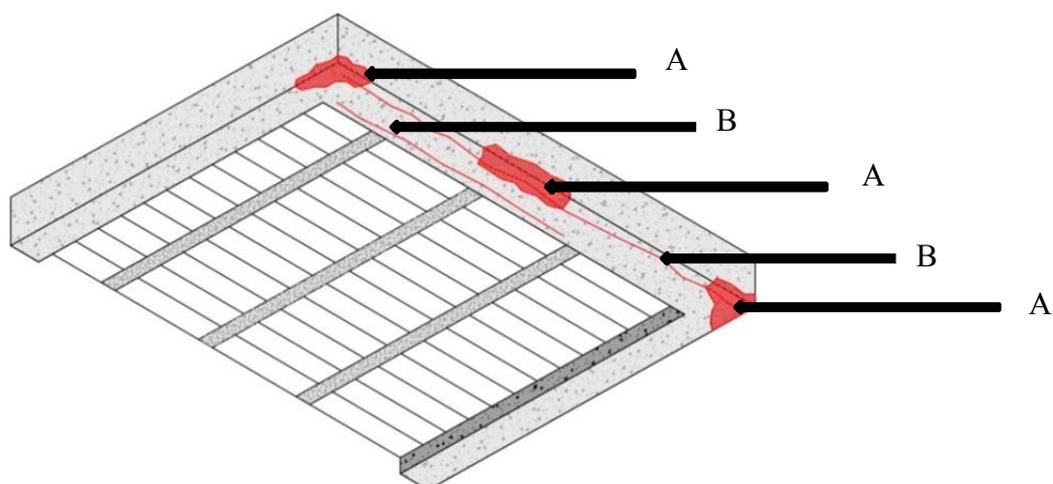


Fig. 5.8. Ubicación de las lesiones en frentes de forjados: A desprendimientos y B grietas

En la Fig. 5.8 se aprecia un detalle constructivo con las situaciones de las lesiones más características. Como puede observarse en la Fig. 5.8, se suelen producir fisuras y grietas longitudinales con pérdida de sección del recubrimiento en la parte expuesta, preferentemente en la zona inferior. Estas fisuras y grietas se producen en el entorno de las armaduras, marcando la posición de las mismas. Este tipo de daño está asociado a la corrosión de las armaduras, tal y como se ha visto en el *Capítulo 2*. Los desprendimientos se concentran, sobre todo, en las esquinas de los zunchos de borde, y en la zona media de la luz de los mismos (Fig. 5.8). En las esquinas se dispone de dos caras expuestas, con lo que se justifica que se produzcan mayores desprendimientos. En la zona media de la luz se puede justificar atendiendo a que en esa ubicación se produce la máxima sollicitación y la flecha máxima en elementos trabajando a flexión.

Se producen también daños de tipo estructural en vigas de fachada y terrazas, sobre todo en municipios con gran tradición en vigas de cuelgue como pueden ser Oropesa del Mar, Tavernes de la Vallidigna y Xeraco, en donde el porcentaje de lesiones en estos elementos aumenta, como era de esperar, al estar expuesta al ambiente de atmósfera marina. La Fig. 5.9 representa lesiones en vigas. Como ocurre en los frentes de forjado, el daño característico de las vigas suele ser grietas y fisuras longitudinales que recorren todo el elemento en su parte inferior. La disposición de las lesiones particulares en vigas de cuelgue se puede apreciar en la Fig. 5.10.

En poblaciones como, por ejemplo, Peñíscola, Benicàssim, el Puig o Xeraco, el porcentaje de pilares afectados por daños aumenta. Esto puede ser debido a que muchas de las edificaciones en estas poblaciones suelen tener la planta baja sin cerramientos, dedicada a aparcamientos o locales comerciales. Además, acostumbran a tener la estructura vista en fachada. Los daños en

los pilares se concentran, sobre todo, en los ubicados en las fachadas, que suele corresponder a los más expuestos (Fig. 5.11).

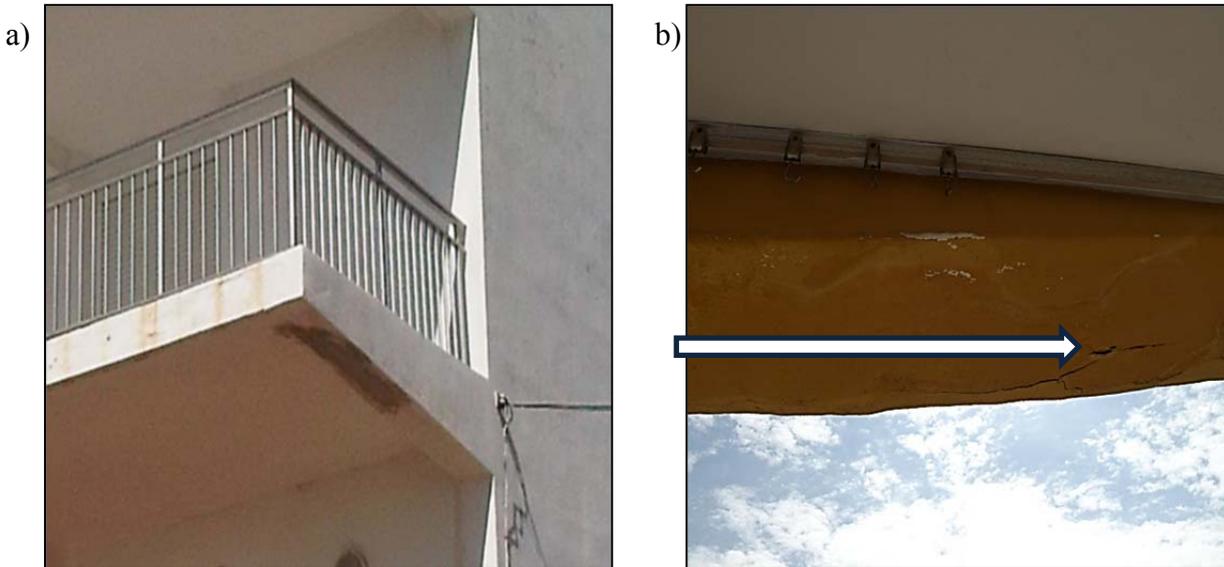


Fig. 5.9. Lesiones en vigas de cuelgue a) en la localidad de Oropesa del Mar y b) en la población de Xeraco

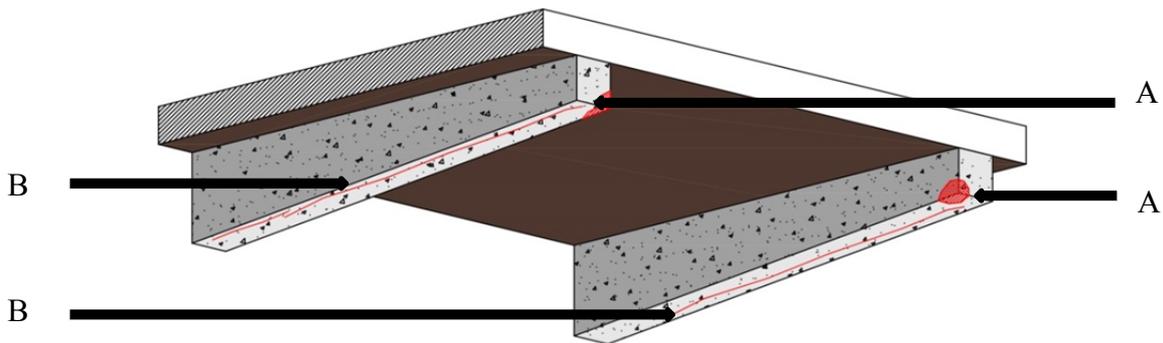


Fig. 5.10. Ubicación de las lesiones en vigas: A desprendimientos y B grietas

La parte inferior de los pilares también es una zona con presencia de lesiones, sobre todo donde se produce el contacto con el terreno (Fig.5.12). En este caso, el daño más repetido suele ser el desprendimiento del recubrimiento (Fig. 5.12.a).

Aparte de las tres ubicaciones de daños descritas, que aglutinan gran parte de la casuística en cuanto a lesiones en estructuras, la inspección ocular en las poblaciones estudiadas ha dado como resultado la existencia de otras zonas en donde aparecen lesiones, como puede ser la parte inferior de los forjados en terrazas, con la presencia de manchas de humedades (Fig. 5.13), que puede provocar la corrosión de armaduras.

Otros de los elementos en los que se ha detectado lesiones de tipo estructural son los elementos secundarios de cubierta, como, por ejemplo, las protecciones para proteger del sol y elementos de terminación (Fig. 5.14.a). Estas estructuras secundarias están presentes en poblaciones como, por ejemplo, Oropesa del Mar, Moncofa, Tavernes de la Valldigna y Xeraco.

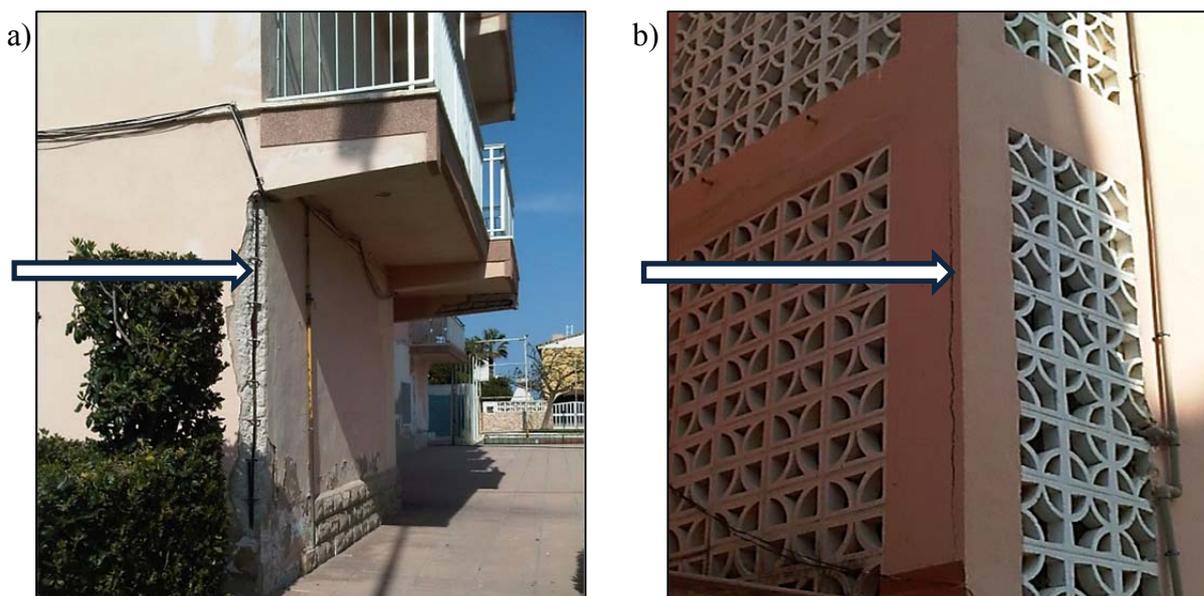


Fig. 5.11. Daños en pilares de planta baja a) en la localidad de Xeraco y b) en la localidad de Benicàssim

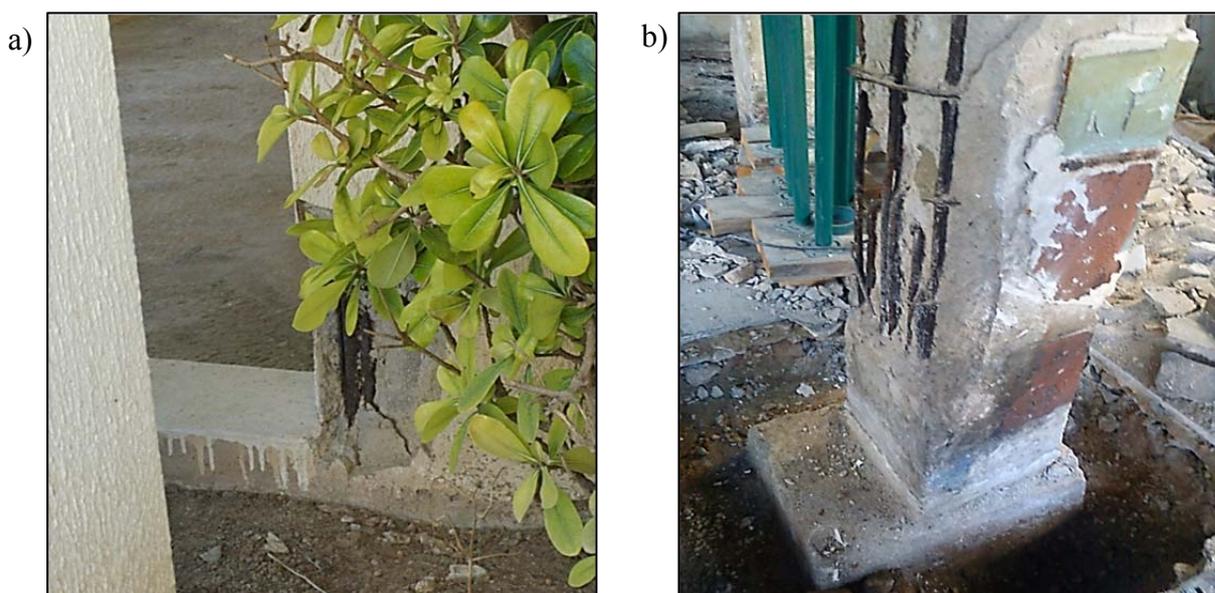


Fig. 5.12. Daños en la parte inferior de pilares a) desprendimiento del recubrimiento en la población de Xeraco b) intervención estructural realizada en Tavernes de la Valldigna por desprendimiento del recubrimiento

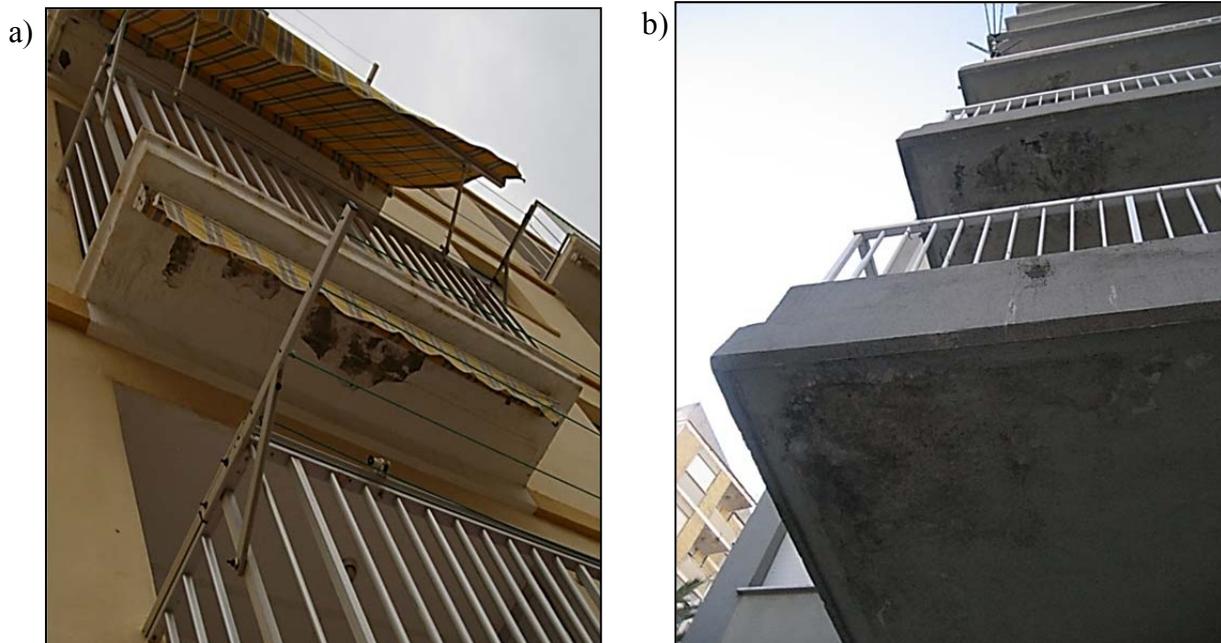


Fig. 5.13. Humedades en la parte inferior del forjado en terrazas a) en la localidad de Xeraco y b) en la localidad de Peñíscola

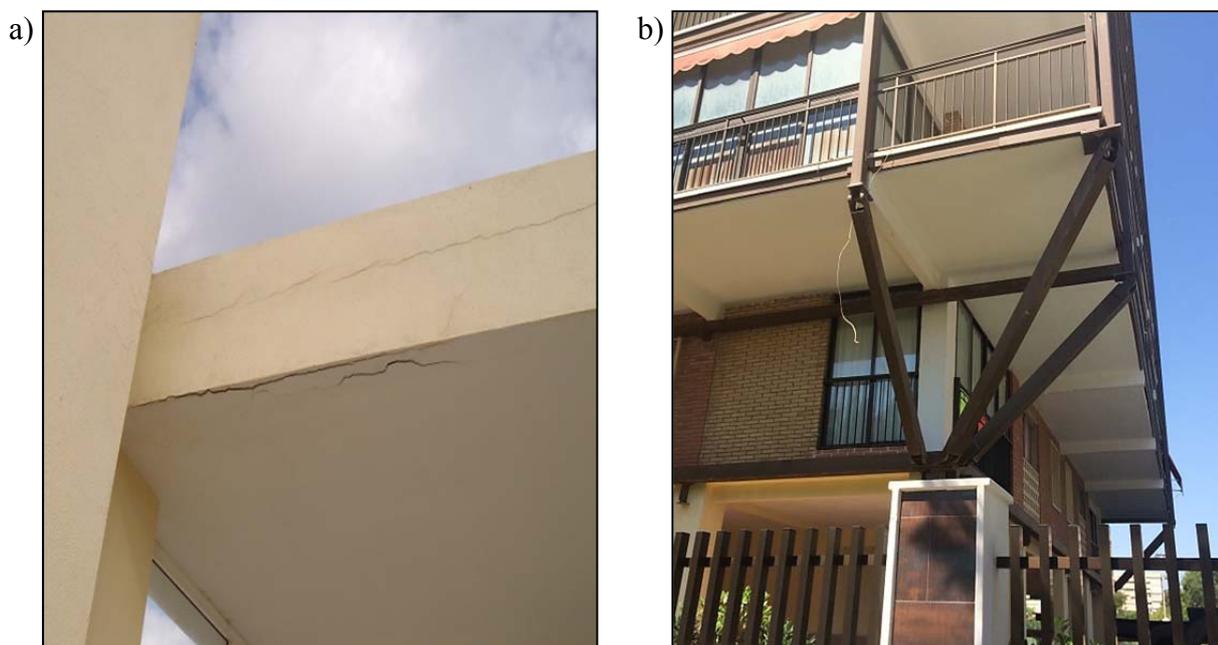


Fig. 5.14. Lesiones en estructuras a) en estructura secundaria en la población de Xeraco y b) refuerzo de voladizo en Playa de San Juan

Es interesante mencionar que en la inspección in situ se han encontrado algunos casos de refuerzos estructurales de los voladizos de terraza producidos por deformación excesiva,

sobre todo en la población de Playa de San Juan, como el que se aprecia en la Fig. 5.14.b.

A modo de resumen de este apartado, se dispone en la Tabla 5.4 el resultado de la inspección ocular realizada en las diferentes localidades objeto de estudio, con el porcentaje de daños por ubicación y el total de edificaciones afectadas.

Tabla 5.4.

Porcentaje de daños en diferentes ubicaciones y porcentaje de edificios dañados para cada población

Poblaciones	Frentes	Vigas	Pilares	Total edificios con daños
Peñíscola	65,0%	25,0%	10,0%	40,0%
Torreblanca	80,0%	16,0%	4,0%	39,0%
Oropesa	71,0%	15,0%	14,0%	34,0%
Benicàssim	71,0%	19,0%	10,0%	38,0%
Moncofa	70,0%	20,0%	10,0%	20,0%
El Puig	50,0%	30,0%	20,0%	48,0%
Pobla de Farnals	63,0%	22,0%	15,0%	60,0%
Port Saplaya	80,0%	3,0%	17,0%	59,0%
El Saler	57,8%	15,4%	19,2%	85,0%
El Perellonet	57,1%	25,7%	17,2%	56,0%
Cullera	60,0%	28,0%	12,0%	32,0%
Tavernes de la Vallidigna	68,0%	20,0%	12,0%	42,0%
Xeraco	58,0%	22,0%	20,0%	26,0%
Calpe	83,6%	11,5%	4,9%	35,0%
Playa San Juan	81,5%	9,3%	9,2%	28,0%

5.3.3. Nivel de los daños

A partir de la clasificación incluida en la Tabla 5.1, se han catalogado los edificios de segunda residencia presentes en las poblaciones de estudio, atendiendo al nivel de daños de tipo estructural que presentaban. El resultado se plasma en la Tabla 5.5, donde se aprecia, por poblaciones, el número de edificios para cada nivel de daños, así como el total de edificaciones afectadas.

Para una mayor comprensión de los resultados obtenidos, a partir de la Tabla 5.5 se realizan las Fig. 5.15 y la Fig. 5.16 en donde se disponen los porcentajes con los niveles de daños, primero de forma general y después por poblaciones.

Con respecto al nivel de daños en las estructuras, se puede observar que existe un porcentaje importante de lesiones del nivel 3 (Fig.5.16). No obstante, el porcentaje con respecto al daño del tipo 4 es de un 22,4%, sensiblemente superior al esperado. Este último porcentaje

manifiesta un dato relevante, ya que en edificios con este nivel de daños se puede considerar que se precisa una rápida intervención sobre la estructura. Localidades como Peñíscola, Torreblanca, Port Saplaya, Cullera y Calpe, presentan un elevado porcentaje de edificios con daños de nivel 4.

Tabla 5.5.

Clasificación de los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar presentes en las poblaciones, según el nivel de los daños observados

Poblaciones	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Total
Peñíscola	8	27	14	49
Torreblanca	3	9	6	18
Oropesa del Mar	7	30	13	50
Benicàssim	19	41	20	80
Moncofa	18	28	2	48
El Puig	2	11	1	14
Pobla de Farnals	5	28	6	39
Port Saplaya	2	19	8	29
El Saler	4	10	3	17
El Perellonet	10	10	4	24
Cullera	18	39	22	79
Tavernes de la Valldigna	12	40	20	72
Xeraco	4	22	6	32
Calpe	7	32	16	55
Playa San Juan	14	27	5	46
TOTALES	133	373	146	652

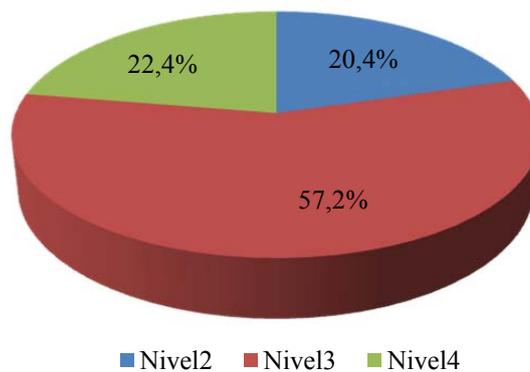


Fig. 5.15. Clasificación porcentual de niveles de daños en edificios de segunda residencia para todas las poblaciones estudiadas

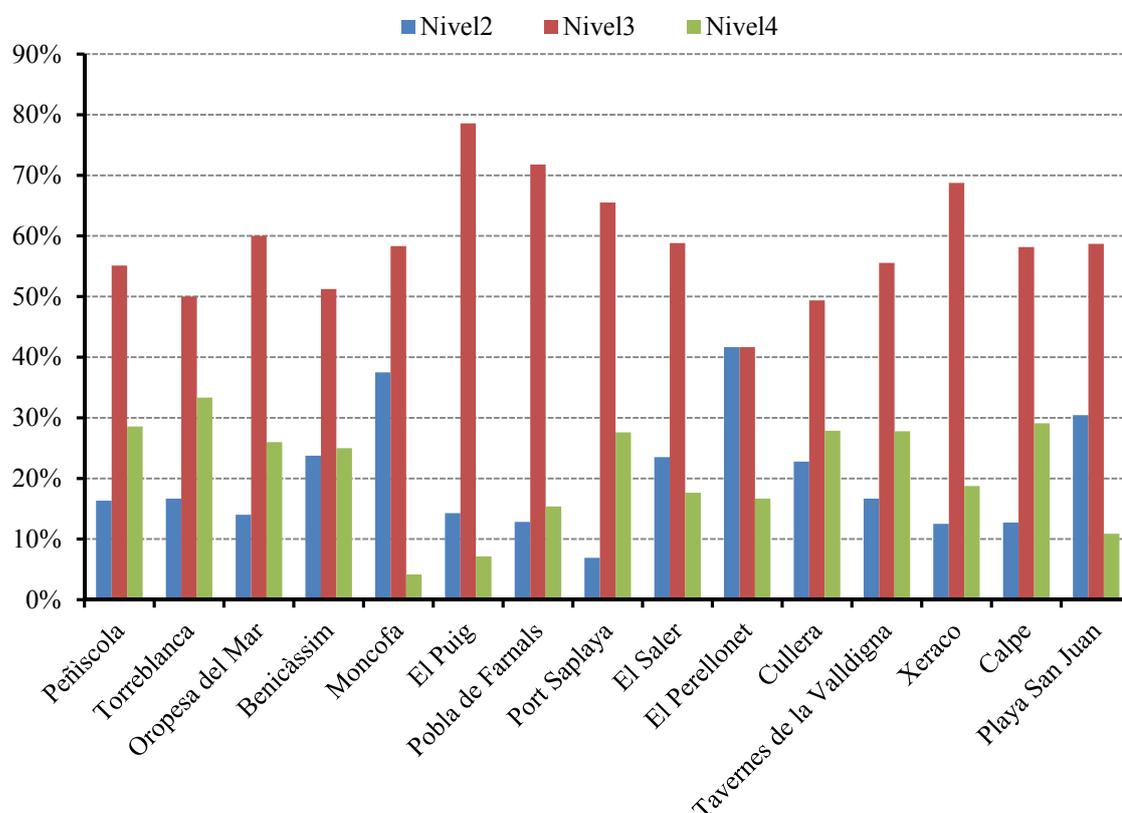


Fig. 5.16. Porcentaje de niveles de daños en estructuras de edificios de segunda residencia en los diferentes núcleos urbanos analizados

5.4. Datos de los proyectos de intervención estudiados en las poblaciones analizadas

Se presentan a continuación los datos obtenidos de los proyectos de intervención consultados, tal y como se ha definido en el *Apartado 5.2*. Se ha extraído de estos proyectos información referente a: el tipo de intervención estructural, la localización de las intervenciones estructurales, los niveles de daño y las causas de las lesiones. En el *Anexo B* se presenta la tabla completa con los proyectos estudiados.

5.4.1. Tipos de intervención estructural

Al igual que el *Apartado 5.3.2*, se han clasificado los proyectos, según el tipo de intervención estructural, en tres grandes grupos:

- Proyectos de intervención/ reparación de fachadas.
- Proyectos de intervención en vigas y forjados.

– Proyectos de intervención en pilares.

Se han diferenciado las reparaciones en fachada de las intervenciones propias de elementos estructurales, debido a la importancia que tienen éstas en el cómputo general de los proyectos analizados.

Los datos obtenidos se han plasmado en la Fig. 5.17, donde se aprecian los porcentajes de cada tipo de intervención estructural, con respecto al total de proyectos analizados. Como se puede observar, existe una diferencia sustancial entre el porcentaje de intervenciones estructurales realizadas en fachada con respecto a las intervenciones en otras partes de la estructura. Este porcentaje es el 52,1% del total de las intervenciones analizadas. Es necesario aclarar, tal y como se ha descrito en el *Apartado 5.3.2*, que en las reparaciones de fachada se engloban las intervenciones en frentes de forjado, vigas en fachada y las terrazas.

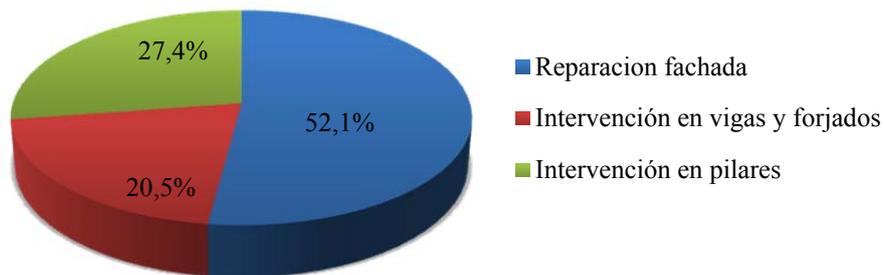


Fig. 5.17. Porcentaje de tipos de intervención con respecto al total de los proyectos analizados

Por otro lado, en la Fig. 5.18, se aprecia el porcentaje de edificios que han tenido varias intervenciones de tipo estructural en los últimos 10 años. Esta figura se ha realizado atendiendo a la información reflejada en los proyectos estudiados o que ha sido facilitada por los profesionales y usuarios de los edificios intervenidos. El criterio para catalogar los proyectos que disponen de más de algún tipo de intervención se ha realizado atendiendo al elemento principal que se ha intervenido.

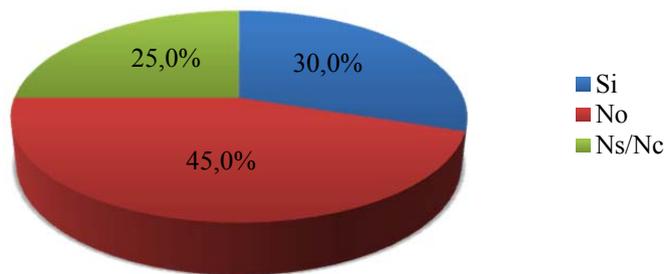


Fig. 5.18. Porcentaje de edificaciones con intervenciones estructurales anteriores

En la Fig. 5.18 es significativo el dato de que un 30,0% de las edificaciones ya han tenido alguna clase de reparación, previa a la presentada en el proyecto estudiado. Este dato se

justifica, en parte, debido a que estas intervenciones suelen ser reparaciones en zonas puntuales (parqueo), preferentemente de fachada, sin tener en cuenta el origen de los daños.

Este dato pone de manifiesto la importancia del conocimiento de las causas que han provocado las lesiones en las estructuras, para poder adoptar las medidas necesarias en las futuras intervenciones estructurales que se realicen en las edificaciones.

5.4.2. Localización de las intervenciones estructurales

La Fig. 5.19 representa el porcentaje de proyectos analizados por la ubicación de los daños estructurales especificados en ellos. Como se puede apreciar, la ubicación del daño se concentra, mayoritariamente, en la parte de la fachada. En este caso, como se ha visto en los Apartados 5.3.2 y 5.4.1, las lesiones de tipo estructural se suelen situar en los frentes de forjado, vigas de cuelgue y pilares expuestos.

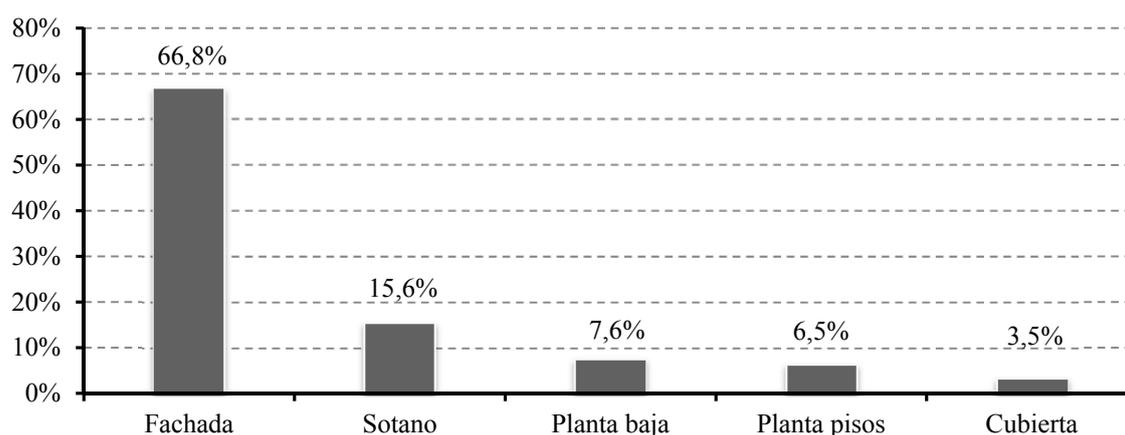


Fig. 5.19. Localización de las intervenciones realizadas en los edificios estudiados

Las intervenciones en sótanos representan un porcentaje del 15,6% con respecto al total. Estas intervenciones se centran, sobre todo, en los pilares, y suelen ser producidas por la corrosión de armaduras por presencia de agua debida al efecto de capilaridad en el hormigón del pilar, como se verá más adelante. Las actuaciones en las plantas de pisos representan un porcentaje del 6,6%, muy inferior a las ubicadas en planta sótano, por ejemplo. Las localizadas en cubierta son debidas mayoritariamente a elementos estructurales secundarios y problemas derivados de humedades y filtraciones.

5.4.3. Niveles de daño

A continuación se procede a clasificar los proyectos acorde a los daños descritos en ellos, según los niveles de daño reflejados en la Tabla 5.1. Es obvio que no existan proyectos con daños de nivel 1, ya que todos los datos provienen de intervenciones estructurales y en este

nivel se sitúan las estructuras sin lesiones.

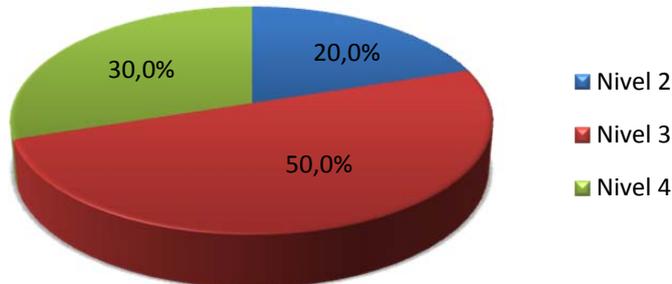


Fig. 5.20. Porcentajes con respecto al total de proyectos de intervención analizados según los niveles de daños estructurales indicados en ellos

Tal y como ocurría en el trabajo de campo realizado, el nivel de daño más frecuente es el correspondiente a la clase 3, esto es, con fisuras presentes en el hormigón armado y daños moderados por corrosión en las armaduras. Cabe destacar el porcentaje de edificios que presentan daños de nivel 4, que alcanza un valor del 30,0% respecto del total de proyectos analizados. Como se ha comentado anteriormente, este porcentaje denota la importancia de los daños presentes en las estructuras de las edificaciones de segunda residencia ubicadas en la costa valenciana.

5.4.4. Causas de las lesiones

Atendiendo a las causas de las lesiones descritas en los proyectos de intervención, se elabora la Fig. 5.21, donde se plantean los tipos de lesiones, en valor porcentual con respecto al total de proyectos analizados.

Se ha incluido en la Fig. 5.21 la presencia de capilaridad como una de las causas que producen las lesiones, debido principalmente a la aparición de corrosión de las armaduras por presencia de agua por capilaridad, principalmente en pilares de sótano.

Tal y como se aprecia en la Fig. 5.21, existe un porcentaje importante de intervenciones estructurales donde los daños son debidos a ataques que producen corrosión en las armaduras, como son: carbonatación, capilaridad y presencia de ion cloruro. Estas causas suman un porcentaje del 66,7% sobre el total. Este tipo de lesiones están presentes en todos los elementos estructurales: pilares, vigas, estructura horizontal, zunchos y dinteles.

Es importante destacar que existe un porcentaje importante de casos (31,1%) donde el proyecto no especifica la causa de la lesión. En estos casos, la reparación especificada en los proyectos se ha definido atendiendo a la presencia de corrosión de armaduras.

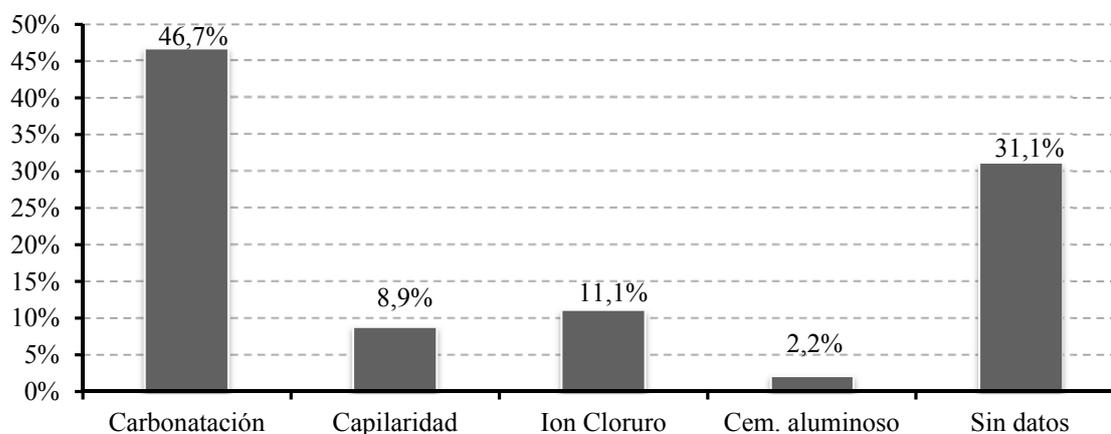


Fig. 5.21. Porcentaje de las causas de las lesiones descritas en los proyectos de intervención analizados

Es necesario aclarar que la presencia de cemento aluminoso (cemento de aluminato de calcio) no es, por sí misma, una manifestación patológica, ya que el hecho de disponer, en este caso, sólo de cemento aluminoso, no supone corrosión de las armaduras. Se tiene que dar la coexistencia de otros factores, como es la presencia de humedad y temperatura, para producir la transformación interna de los constituyentes de este cemento. No obstante, y dada la alarma social que genera la presencia de cemento aluminoso, se produjeron muchas intervenciones en el litoral valenciano sobre edificios donde se había empleado este tipo de cemento. El bajo porcentaje de casos encontrados se ha localizado en proyectos de la provincia de Castellón, concretamente en Benicàssim.

También cabe destacar que muchas de las intervenciones analizadas han dado como posible causa de la corrosión de armaduras la carbonatación del hormigón y la posterior despasivación de las mismas. Muchos de los proyectos no han tenido en cuenta la presencia del ión cloruro, ya que no se han realizado los análisis pertinentes.

En relación con el párrafo anterior, la Fig. 5.22 representa el porcentaje de los tipos de ensayos realizados en los proyectos para determinar las causas de los daños. Los datos de la Fig. 5.22 sugieren que se han realizado ensayos fácilmente ejecutables in situ, como el ensayo de fenoftaleína, para determinar el nivel de carbonatación, lo que justificaría el porcentaje de proyectos donde se estimaba que la carbonatación era la causa principal de la corrosión de las armaduras. Es destacable también el valor del porcentaje de catas para la determinación de las lesiones que pudiera tener el elemento estudiado. Recordemos que la sospecha de presencia de cemento aluminoso exigía controles para su identificación. Es importante subrayar aquí el número de proyectos de intervención que carecen de cualquier tipo de ensayo.

En cuanto al contenido de ión cloruro, de los expedientes revisados a nivel proyectual, salvo en casos muy concretos, no se han realizado las pruebas pertinentes para determinar su

presencia y su cantidad.

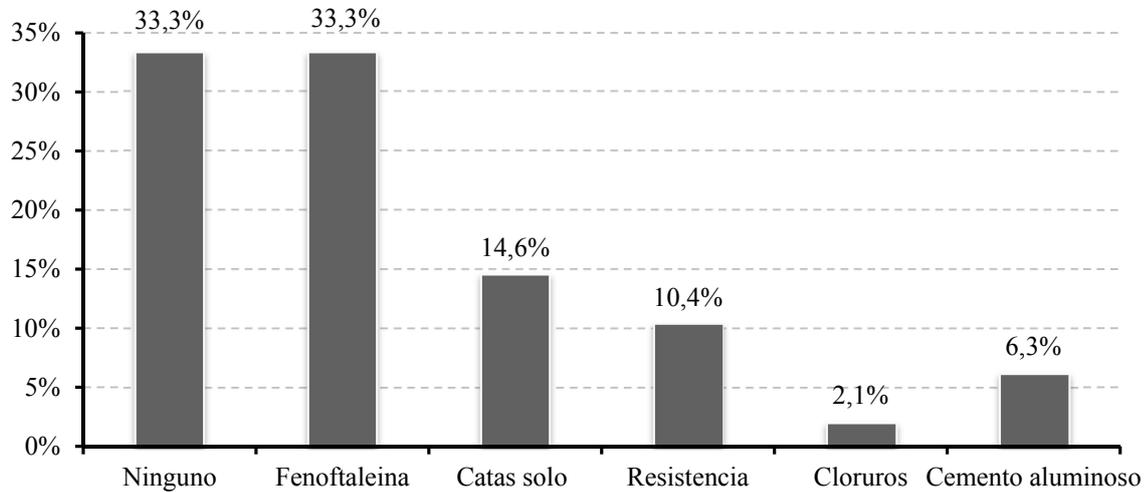


Fig. 5.22. Porcentaje del tipo de ensayos realizados en los proyectos revisados

5.5. Datos de la encuesta realizada

En este apartado se analizan los resultados de la encuesta realizada a los diferentes profesionales de la construcción, acerca de las intervenciones estructurales ejecutadas sobre edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar en la costa valenciana.

En el *Apartado 5.2.3.2* se ha definido el protocolo seguido, la descripción de la encuesta y el cuestionario propuesto a los profesionales.

5.5.1. Tipos de intervenciones

En la encuesta realizada se consultaba a los diferentes profesionales de la construcción sobre los tipos de intervenciones más comunes que se efectúan en la rehabilitación de los edificios de segunda residencia en la costa valenciana. Para acotar las respuestas, se les dieron 4 posibilidades:

- Intervención/Reparación de fachada.
- Intervención en pilares.
- Intervención en vigas y forjados.
- Otros.

Los resultados obtenidos se han plasmado en un gráfico donde se aprecia el porcentaje de respuestas para las cuatro posibilidades (Fig. 5.23):

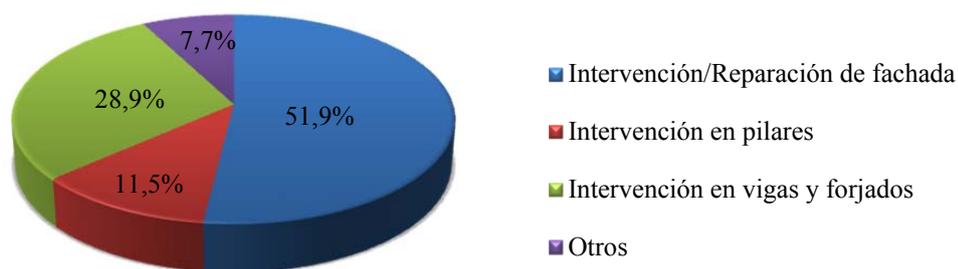


Fig. 5.23. Tipo de intervención según la encuesta realizada a los profesionales

La primera conclusión que se puede obtener del análisis de los valores presentados en la Fig. 5.23 es la existencia de un predominio claro en actuaciones de reparación en fachadas. Los datos revelan que el 51,9% de las actuaciones realizadas por los técnicos encuestados pertenecen a este tipo de intervención. Este valor es muy similar al reflejado en el estudio realizado sobre proyectos.

Se puede apreciar, además, que existe un porcentaje de un 28,9%, con respecto al total, de intervenciones en vigas y forjados. Como ocurría con las intervenciones en fachada, este valor se encuentra próximo al dato de los proyectos. En contraposición, el porcentaje de actuaciones en pilares dispone de un valor de un 11,5 % del total, que representa menos de la mitad de las actuaciones realizadas en la estructura horizontal. Además, este porcentaje es sensiblemente inferior al evidenciado en los proyectos de intervención.

5.5.2. Ubicación de las intervenciones

Según la encuesta planteada, la posible ubicación de las lesiones estaba agrupada en cinco posibilidades:

- Fachada
- Sótano
- Planta baja
- Plantas pisos intermedios.
- Cubierta

Los resultados obtenidos de la encuesta quedan reflejados en la Fig. 5.24, donde se aprecia el porcentaje de posibles ubicaciones de lesiones, con respecto al total de encuestas realizadas. Estos datos corroboran la tendencia reflejada en la pregunta donde se consulta sobre el tipo de intervención. Efectivamente, se aprecia un predominio de actuaciones sobre las fachadas (63,5%).

En cuanto a las intervenciones en sótanos y plantas bajas, los valores se encuentran dentro de

lo esperado. Si se tienen en cuenta los datos obtenidos en la inspección in situ y en el análisis de las intervenciones de tipo estructural, los daños en pilares se producen mayoritariamente en sótanos y planta baja.

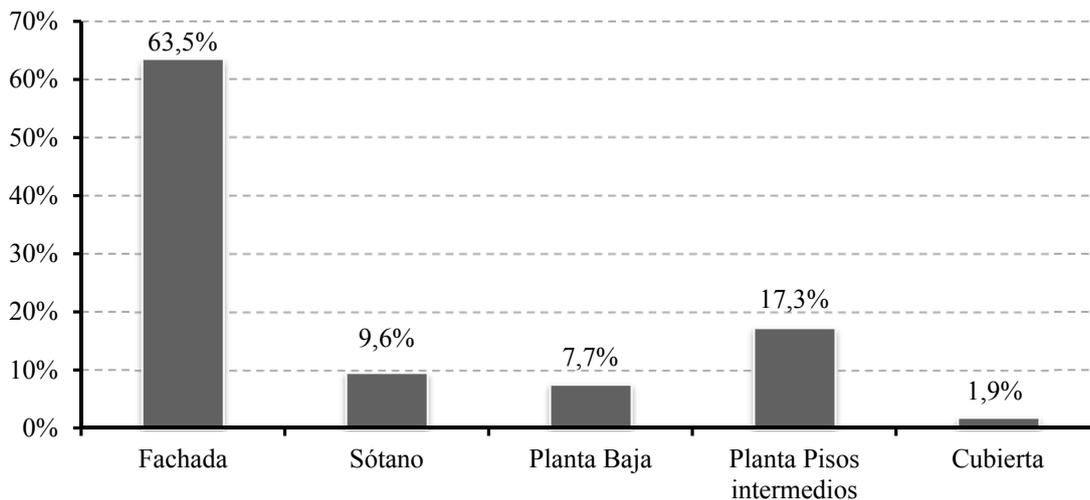


Fig. 5.24. Ubicación de las actuaciones según la encuesta realizada

El porcentaje del 17,3% de intervenciones en plantas de pisos es sensiblemente superior al reflejado en el análisis de proyectos. Probablemente exista un porcentaje de las respuestas en donde se haya asociado las lesiones producidas en vigas y frentes de forjados a las dos ubicaciones posibles simultáneamente, esto es, fachada y plantas pisos.

5.5.3. Causas de las lesiones

La última cuestión de la encuesta versaba sobre la causa más frecuente de las lesiones encontradas y que fueron el motivo de la intervención estructural realizada por los encuestados. Las posibles respuestas a esta cuestión eran:

- Corrosión de las armaduras por carbonatación.
- Corrosión de las armaduras por ataque de ión cloruro.
- Presencia de cemento aluminoso.
- Otros.

Los datos obtenidos quedan reflejados en la Fig. 5.25, donde se disponen los porcentajes de las respuestas obtenidas.

Se puede observar en la Fig. 5.25 que las causas principales de lesiones están relacionadas con la corrosión de las armaduras. Tal y como se ha visto en el *Apartado 5.4*, es el motivo fundamental de intervención estructural en los proyectos analizados. Un porcentaje del 69,2%

de los encuestados indican que las causas de las intervenciones que han realizado son debidas a fenómenos de corrosión de armaduras, bien por carbonatación en el hormigón, o bien por ataque del ión cloruro.

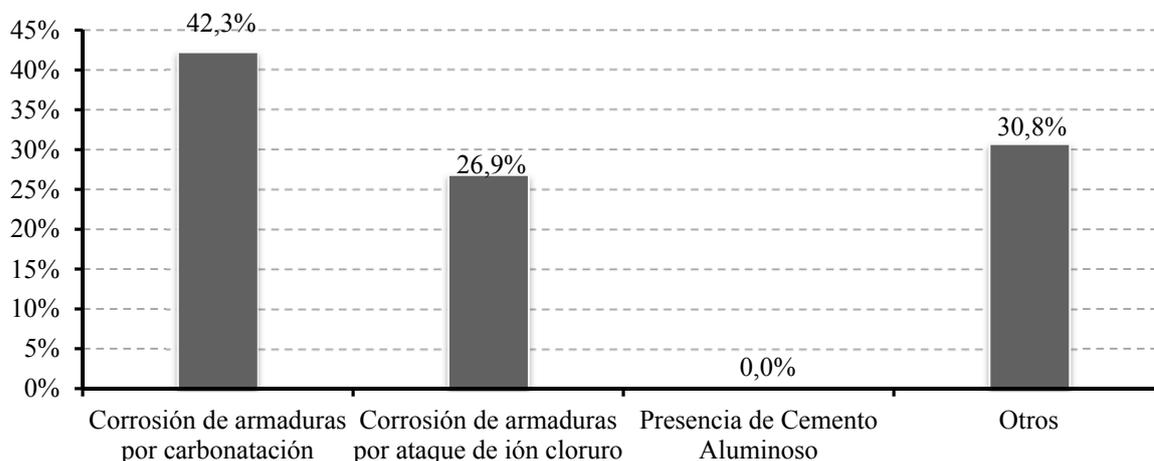


Fig. 5.25. Causas de las lesiones, según la encuesta realizada

Con respecto a las causas que provocan esta corrosión, los resultados arrojan un porcentaje de 42,3% de intervenciones producidas por carbonatación, frente al 26,9% por ataque de ión cloruro. Este porcentaje es sensiblemente superior al extraído del análisis de proyectos de intervención.

Hay que destacar también que no se aprecian daños por presencia de cemento aluminoso. Este dato era esperado, ya que, viendo los proyectos analizados en el *Apartado 6.4*, únicamente en un caso se realizaban intervenciones por presencia de cemento aluminoso y humedad.

La columna “otros” de la Fig. 5.25 cabe suponer que refleja, por ejemplo, lesiones debidas a humedades, fisuras y grietas derivadas de movimientos de voladizos o de asientos diferenciales en los edificios.

5.6. Entrevistas realizadas

Tal y como se ha visto en el *Apartado 5.2*, dentro de la experiencia de los agentes intervinientes en las obras de intervención estructural se realizó una ronda de entrevistas con dos objetivos:

- Corroborar los datos del análisis de los proyectos de intervención vistos en el *Apartado 5.4*.
- Obtener una opinión con respecto a los resultados de la encuesta del *Apartado 5.5*.

Para ello, se contactó con los profesionales explicando brevemente el objetivo de la Tesis Doctoral y la temática de la entrevista. Posteriormente se realizó una entrevista presencial con cada uno de ellos.

En esta entrevista presencial, se explicó al profesional con más detalle la metodología propuesta en este trabajo. Seguidamente se realizaron diversas preguntas acerca de los proyectos de intervención que habían efectuado, tal y como se ha visto en el *Apartado 5.2.3.3*, y se pidió su opinión acerca de los datos extraídos de los proyectos y la encuesta.

A continuación se muestran de un modo muy general, los resultados de estas entrevistas. Se sigue el mismo orden descrito en los *Apartados 5.5 y 5.6*.

5.6.1. Tipo de intervenciones

Tras las entrevistas realizadas, ha quedado de manifiesto que los tipos de intervención que más se efectúan son las rehabilitaciones en fachada. Las intervenciones en vigas y forjados, así como en pilares, son menos frecuentes en comparación con las intervenciones en fachada.

Todos los entrevistados están de acuerdo que el método de intervención basado en la reparación es el más usado. Dentro de este sistema es el parcheo puntual el que predomina, preferentemente en fachada, corroborando lo visto en el *Apartado 5.4.1*.

5.6.2. Ubicación de las intervenciones

En general, los entrevistados consideran que los frentes de forjado son las zonas más propensas a presentar lesiones, corroborando lo visto en los *Apartados 5.4.2 y 5.5.2*. También algunos entrevistados afirman que las plantas bajas y sótanos son lugares donde existe una importante casuística de daños. Así mismo, han señalado la parte inferior de los forjados como punto importante de lesiones, debido a la concentración de humedades en esas zonas.

Con respecto a la cubierta se confirma la existencia habitual de filtraciones y humedades. En este caso, no se asocia con intervenciones estructurales, sino como actuaciones para recuperar la impermeabilización perdida.

5.6.3. Causas de las lesiones

Los entrevistados señalan la corrosión de las armaduras como la causa principal de las lesiones por las que fue necesaria la intervención en los edificios. Aunque en menor medida, otra de las causas indicadas fue por fisuración debida a deformación excesiva en voladizos y por asientos diferenciales. Este dato corrobora lo especificado en los *Apartados 5.4.4 y 5.5.4*.

Existen diversas opiniones con respecto al origen de la corrosión de las armaduras. Predomina la carbonatación como elección de la causa más probable, aunque sí se considera el ambiente marino como agresivo e influyente en la corrosión de las armaduras.

A renglón del párrafo anterior, el 100% de los entrevistados se decantó por las catas a los elementos estructurales como el ensayo principal para la inspección de la estructura. También el ensayo de fenoftaleína es bastante empleado, dado su sencillez y rapidez de ejecución. El ensayo de resistencia a compresión sólo es realizado cuando se aprecia una pérdida grave de resistencia. En contraposición, todos los entrevistados coinciden en que no es frecuente la realización del ensayo de presencia de ion cloruro, confirmando lo visto en el *Apartado 5.5.4*. En elementos expuestos claramente al ambiente marino, algunos profesionales sí han realizado este tipo de ensayo para intervenciones estructurales.

5.7. Datos de la inspección realizada por la Dirección General de Arquitectura

Dentro de la recopilación de información efectuada en Organismos Oficiales, es necesario destacar las inspecciones llevadas a cabo por la Dirección General de Arquitectura y Vivienda de la actual Conselleria de la Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio (*Consellería d'Obres Públiques, Urbanisme i Transport de la Generalitat Valenciana 2015*), ya que, como se ha comentado en el *Apartado 5.2*, han sido una fuente de información de gran valor para la realización de esta Tesis Doctoral.

Estas inspecciones se realizaron en inmuebles que disponen de una cierta antigüedad, en concreto para edificios comprendidos entre los años 60 y 90, ubicados en la Comunidad Valenciana.

5.7.1. Filtrado de datos

Se ha efectuado un filtrado de la inspección realizada por la Dirección General de Arquitectura y Vivienda. Este filtrado ha permitido extrapolar los resultados del análisis de esta inspección al trabajo realizado en este *Capítulo*.

Para ello, se han extraído los informes que pertenecen a edificaciones plurifamiliares en poblaciones de la costa de las 2.734 inspecciones realizadas a edificios de la Comunidad Valenciana. Así mismo, se han suprimido las inspecciones en las que no se ha detectado ningún daño de tipo estructural. El total de informes después del filtrado se ha reducido a 428. En la Tabla 5.6 se representa los informes obtenidos después del filtrado.

A partir de este filtrado, se está en condiciones de poder comparar los datos extraídos de la

inspección de la Dirección General de Arquitectura y vivienda con los vistos en el Apartados 5.3 y los Apartados 5.4 y 5.5.

Tabla 5.6.

Informes obtenidos después del filtrado de las inspecciones de la Dirección General de Arquitectura y Vivienda

Total de inspecciones	Expedientes pertenecientes a edificaciones plurifamiliares en poblaciones de la costa	Expedientes pertenecientes a edificaciones con lesiones estructurales en poblaciones de costa
2.734	662	428

5.7.2. Niveles de daño

En la Fig. 5.26 se muestran los datos sobre los niveles de daños, una vez filtrada la información obtenida de las inspecciones de la Dirección General de Arquitectura. Se han ajustado los daños reflejados por los inspectores en los informes, a los niveles definidos en la Tabla 5.1.

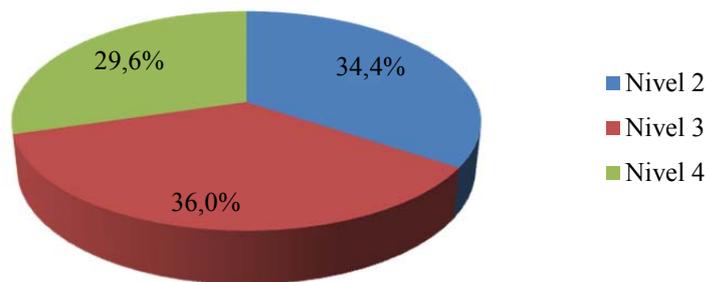


Fig. 5.26. Porcentajes de edificios con los diferentes niveles de daño según las inspecciones realizadas por la Dirección General de Arquitectura

En la Fig. 5.26 se puede observar que el valor del porcentaje de daños del Nivel 4 es de 29,6%, cifra muy aproximada a lo visto en el estudio de las intervenciones de tipo estructural. No obstante, esta cifra es sensiblemente superior a la estimada tras las inspecciones in situ. En las inspecciones este porcentaje se determina en base a las inspecciones filtradas, que son efectuadas cuando se han detectado daños estructurales. Por ello, es lógico que el dato obtenido de la inspección in situ sea inferior.

El porcentaje con respecto al nivel 3 es de 36,0%.; éste es un dato muy inferior al encontrado en la inspección in situ y en el análisis de los proyectos de intervención. Sin embargo, el resultado de las inspecciones de la Dirección General de Arquitectura en cuanto a los niveles 2 y 3, es de un 70,3%, cifra similar a la reflejada en el Apartado 5.4.3. Este dato se puede justificar, atendiendo a que en la inspección, la importancia de los daños se ha efectuado siguiendo otros criterios diferentes a los descritos en la Tabla 5.1.

5.7.3. Causas de las lesiones detectadas

De los datos extraídos de los informes de la Dirección General de la Vivienda, se ha determinado que existe un porcentaje de 58,6% de los edificios que presentan lesiones por fisuración. Así mismo, el porcentaje de edificios con corrosión en las armaduras es del 57,9%. Este porcentaje es equivalente al extraído de la encuesta y las intervenciones de tipo estructural (*Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transport de la Generalitat Valenciana 2015*).

A partir de los ensayos para determinar el tipo de corrosión, reflejados en los informes, se ha realizado la Fig. 5.27.

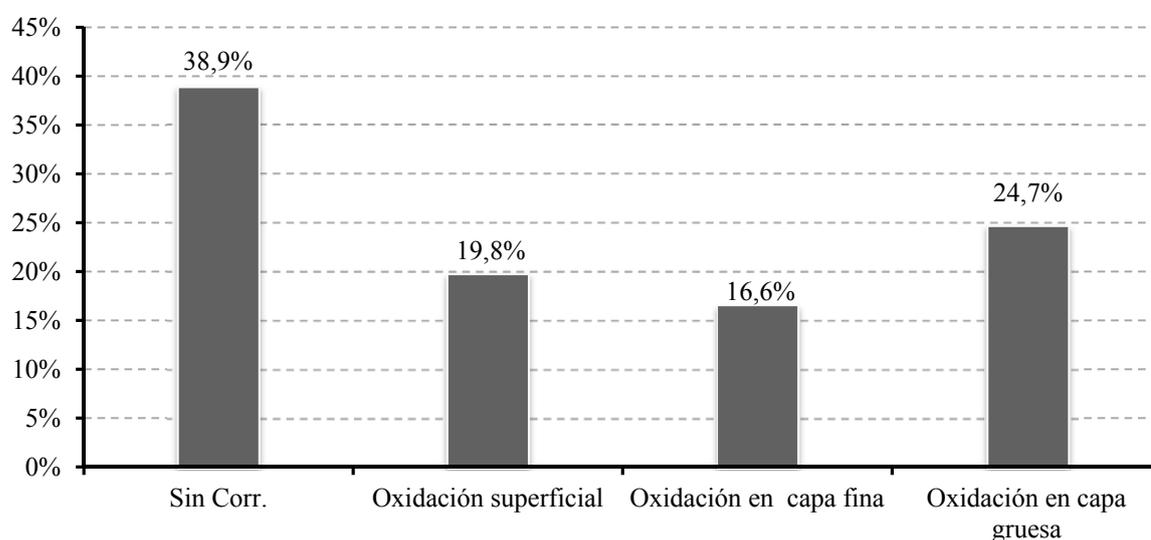


Fig. 5.27. Porcentaje de tipos de corrosión detectados con respecto al total de ensayos de corrosión efectuados en las inspecciones realizadas por la Dirección General de Arquitectura

En esta Fig. 5.27 se distingue una diferenciación del nivel de oxidación detectado en los edificios. Según los datos extraídos de la *Guía para la Inspección y Evaluación de estructuras de hormigón en edificios existentes (IVE 2008)*, realizada a partir de las inspecciones de la Dirección General de Arquitectura, la presencia de corrosión en capa gruesa indica una corrosión elevada del acero, con pérdida significativa de sección de armadura. La oxidación en capa fina correspondería a una corrosión de tipo moderado, esto es, sin pérdida importante de sección de armadura. La corrosión superficial equivaldría a un grado de corrosión bajo. Como se puede observar, dentro de los datos de ensayos realizados en la inspección, la oxidación en capa gruesa predomina sobre las otras dos, con un valor de 56,5%. Este dato denota que la corrosión de las armaduras es la causa fundamental de las lesiones presentes en los edificios inspeccionados.

Con respecto al agente causal que ha producido la corrosión, en los datos reflejados en la Guía no hay cifras directas que relacionen las causas de la corrosión con los ataques por carbonatación del hormigón o por presencia de ion cloruro. No obstante, sí que se refleja la profundidad de carbonatación encontrada en los edificios inspeccionados como se recoge en la Fig. 5.28:

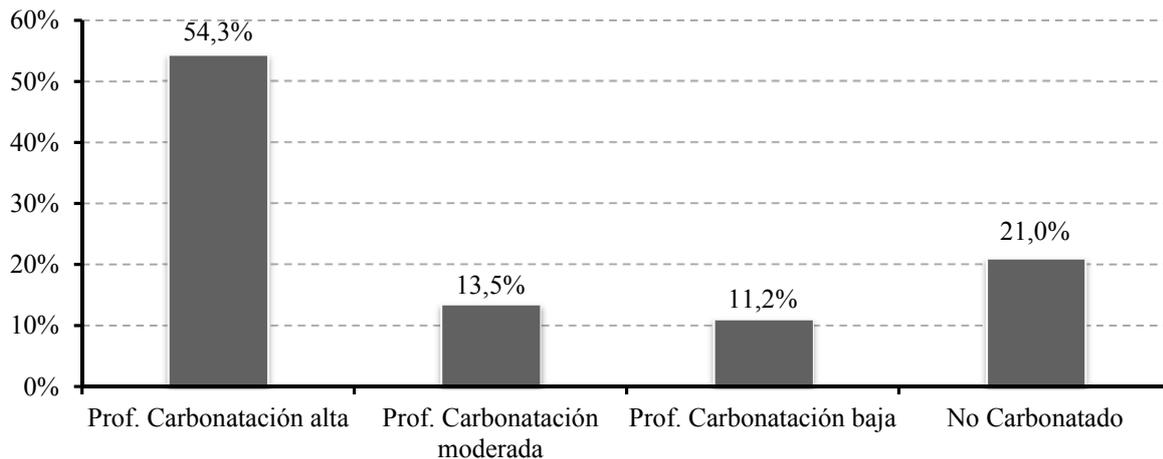


Fig. 5.28. Importancia de la carbonatación en los ensayos realizados en las inspecciones de la Dirección General de Arquitectura

Como se puede apreciar en la Fig. 5.28, el porcentaje dentro de los ensayos realizados en donde ha aparecido profundidad alta de carbonatación del hormigón tiene un valor de 54,3%. Por la antigüedad de los edificios inspeccionados, este dato entra dentro de lo esperado. Cabe señalar que cuando se habla de profundidad de carbonatación alta se refiere a que ésta ha alcanzado el espesor del recubrimiento y, por lo tanto, la armadura (IVE 2008).

A continuación se analizan los datos relativos al contenido de ión cloruro. Un alto contenido en ion cloruro en el hormigón determina que la corrosión ha sido inducida por este ataque (IVE 2008). La normativa EHE-08 limita el contenido en ión cloruro en un 0,4% sobre el peso de cemento (B.O.E. 203/2008). Este valor suele corresponder a un 0,05% referido al peso de hormigón. A partir de este valor se considera que se supera el valor umbral de cloruros que podría producir la despasivación de la armadura y el posible comienzo de la corrosión (González et al. 1984, Cobo 2001). Así mismo, según la Guía para la Inspección y Evaluación de estructuras de hormigón en edificios existentes (IVE 2008) con un contenido en ion cloruro de 0,12% sobre el contenido en peso del hormigón, se considera que existe riesgo alto de corrosión. Por lo que se tomará el valor de 0,05% en peso de hormigón para delimitar el contenido mínimo en ion cloruro que produciría el inicio de la corrosión y el valor de 0,12% para delimitar el contenido que se considera alto.

Un resumen de los ensayos de las inspecciones se plasma en la Tabla 5.7, donde se observa el

total de ensayos realizados para identificar la presencia de ion cloruro y el porcentaje de éstos con respecto al total de ensayos que disponen de un contenido de ion cloruro mayor de 0,05% en peso del hormigón. También se aprecia el porcentaje con respecto al total de ensayos en donde se ha encontrado un contenido en ion cloruro mayor del 0,12%.

Tabla 5.7.

Total de ensayos de presencia de ion cloruro realizados en los edificios inspeccionados, y el porcentaje de éstos dependiendo de la presencia alta de ion cloruro

Total de ensayos	Porcentaje de ensayos con ion cloruro sobre el peso de hormigón <0,05%	Porcentaje de ensayos con ion cloruro sobre el peso de hormigón <0,12% y >0,05%	Porcentaje de ensayos con ion cloruro sobre el peso de hormigón >0,12%
270	31,9%	38,1%	30,0%

Como se observa en la Tabla 5.7, el porcentaje del total de ensayos en donde existe un contenido de cloruros que produciría la corrosión es del 68,1% (38,1% + 30,0%). Este dato confirma que existe una presencia importante de ion cloruro en donde se presuponía su existencia por estar cerca de la costa. Además, existe un porcentaje del 30 % sobre el total de los ensayos realizados en donde la presencia de ion cloruro está por encima de 0,12% del peso del hormigón. Por la experiencia en otros trabajos (*Serrano et al. 2009*) la presencia de oxidación en capa gruesa (que equivale a un grado elevado de corrosión) aumenta considerablemente a partir de un porcentaje de ion cloruro mayor de 0,12%. Cabe señalar, que estos porcentajes están realizados sobre los edificios en los que se ha realizado ensayo de cloruros. Si se referencia sobre la totalidad de edificios inspeccionados, los datos aparecen en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8.

Resultados del contenido en cloruros con respecto del total de inspecciones realizadas (sobre datos IVE 2008)

Total edificios	Total de edificios con ensayos de ion cloruro	Porcentaje de edificios con respecto al total con presencia de ion cloruro sobre el peso de hormigón mayor de 0,12 %	Porcentaje de edificios con respecto al total con presencia de ion cloruro sobre el peso de hormigón mayor de 0,05 %
428	144	11,0 %	25,0 %

La Tabla 5.8 muestra que existe un porcentaje del 25 % del total de edificios analizados donde el porcentaje de ion cloruro con respecto al peso del hormigón es mayor de 0,05 %.

Del análisis de las tablas anteriores se concluye que el ión cloruro ejerce elevada influencia en la corrosión que presentan los edificios inspeccionados, y que, con mucha probabilidad, la presencia de ión cloruro en concentración superior a la umbral de 0,05%, respecto del contenido en hormigón, se hubiera encontrado en el resto de edificios, si se hubiera realizado el ensayos para su detección. La diferencia del valor encontrado en las inspecciones (25,0%) respecto del valor extraído en la encuesta (26,9 %) se considera aceptable teniendo en cuenta

la disparidad de las fuentes de información consultadas.

5.8. Comparación de los datos obtenidos en el *Capítulo 5*

Tal y como se ha reflejado en el *Apartado 5.2*, se pretende aglutinar todo el trabajo realizado por medio de la inspección in situ, la experiencia de los profesionales, tanto a nivel de proyectos como de la entrevista y la encuesta, y los datos extraídos de las inspecciones de la Dirección General de Arquitectura y Vivienda. Todo ello nos permitirá efectuar una comparación de los datos, a partir de un análisis conjunto de todos los resultados mostrados a lo largo de este *Capítulo 5*.

De la inspección in situ realizada, se ha podido constatar la existencia de núcleos urbanos con un porcentaje elevado de manifestaciones patológicas en sus edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar. En poblaciones como El Puig, Poble de Farnals, Port Saplaya, El Saler y El Perellonet más del 50 % de su parque inmobiliario de segunda residencia presentan daños estructurales. En general, los porcentajes de edificaciones de esta tipología con lesiones de algún tipo superan el 25-30 % del total.

El estudio realizado en el *Apartado 5.3.2* ha puesto de manifiesto que existe un porcentaje del 67,7 % de edificios con daños estructurales ubicados en fachada. En la Fig. 5.29 se ha comparado este dato con los resultados reflejados en los *Apartados 5.4.1* y *5.5.1*, apreciando que en el estudio de proyectos de intervención y en la encuesta también existe un porcentaje alto de edificaciones con reparaciones de fachada. Este dato muestra la importancia que tiene la exposición al ambiente marino en las manifestaciones patológicas de estas edificaciones.

Como se aprecia en la Fig. 5.29, el porcentaje reflejado de daños en fachada en los proyectos de intervención analizados y en la encuesta es prácticamente idéntico; en cambio, existe una diferencia del porcentaje encontrado en la inspección in situ. La justificación de este distinto porcentaje puede ser debido a que en la inspección in situ se refleja el estado actual del parque inmobiliario, que engloba a los no reparados o en proceso de reparación, mientras que los datos de los proyectos y la encuesta reflejan únicamente los reparados. Este dato evidencia que existe todavía un número importante de edificaciones de segunda residencia de la costa valenciana que presentan daños en elementos estructurales de fachada que están en proceso de reparación. Con respecto a la ubicación de los daños en la fachada, elementos estructurales tales como frentes de forjados, frentes de terraza y vigas planas, son los lugares en donde se produce una mayor concentración de lesiones. Cabe señalar que en los datos de la encuesta se permitía una cuarta respuesta, tal y como se aprecia en la Fig. 5.23, en este caso la opción: "Otro tipo de intervención". Por ello, en la Fig. 5.29 se debería tener en cuenta el valor de 7,7% correspondiente a la opción "Otro tipo de intervención" para que los valores de

porcentaje en la columna de la Encuesta sumen 100%.

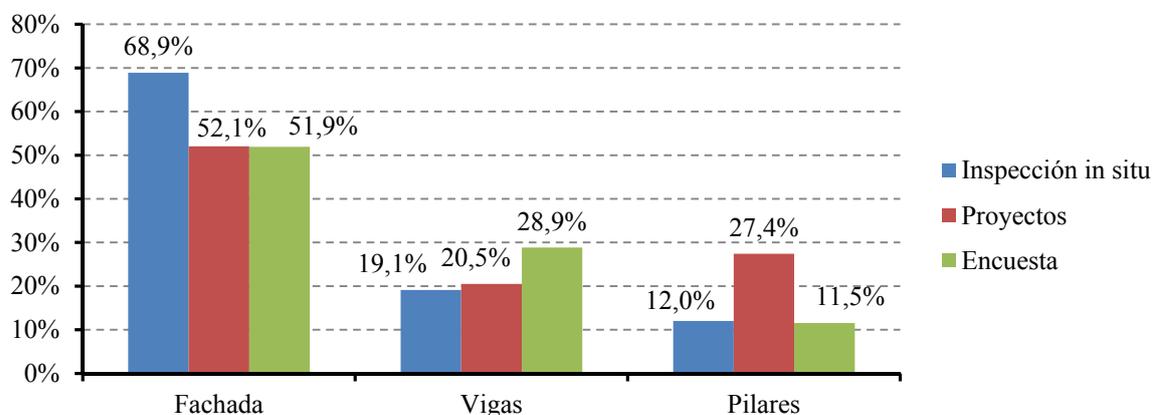


Fig. 5.29. Resumen de los datos con respecto a la ubicación de los daños

Se ha comprobado que existe un importante porcentaje de lesiones en las estructuras con un nivel 3 de daños. Este nivel corresponde a un daño estructural moderado, tal y como se especifica en la Tabla 5.1. No obstante, es significativo el porcentaje de edificaciones con un nivel 4 de daños, que corresponde a un nivel alto de daños (Tabla 5.1). En la Fig. 5.30 se presenta una comparativa de los porcentajes de edificios con respecto al total de afectados que presentan distintos niveles de daños, en base a la información obtenida a lo largo de este *Capítulo*. Como se puede observar, el valor del porcentaje de edificios que presentan daños de nivel 4 se encuentra en un rango entre un 20 y un 30 %. La diferencia entre el porcentaje reflejado en los datos de la inspección in situ y los datos de los proyectos de intervención se justifica porque las intervenciones estructurales se suelen realizar cuando ya existe un importante grado de daños. Igualmente ocurre en las inspecciones realizadas por la Dirección General de Arquitectura y Vivienda: el porcentaje corresponde a las inspecciones en donde se ha detectado por parte de la comunidad de propietarios la existencia de daños estructurales.

A la vista de los datos de la Fig. 5.30 se puede concluir que existe un porcentaje del 20-30 % de edificaciones de esta tipología afectadas de daños estructurales que presentan armaduras con una corrosión elevada, con pérdidas de sección importantes, y desprendimientos de recubrimientos (Tabla 5.1). Un importante número de edificaciones dentro de esta tipología necesitan, o se está realizando, una intervención de tipo estructural en un plazo inmediato.

La Fig. 5.31 plasma los datos extraídos de los proyectos de intervención, los de la encuesta realizada y los de la inspección de la Dirección General de la Vivienda. Se puede apreciar en esta Fig. 5.31 que el valor del porcentaje de edificaciones que presentan daños por corrosión es significativo. El valor de este porcentaje en las tres alternativas es similar, entre 57,9 % y el 69,2 %. A la vista de estos datos, se puede concluir que la causa principal de los daños en las

estructuras de edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar es debida a la corrosión de las armaduras

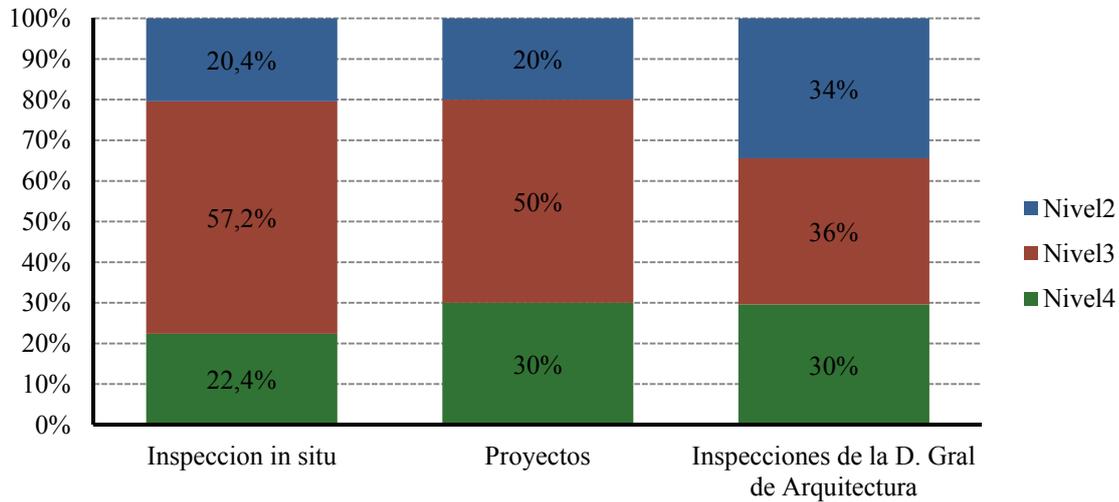


Fig. 5.30. Resultados del trabajo realizado con respecto a la importancia de los daños estructurales

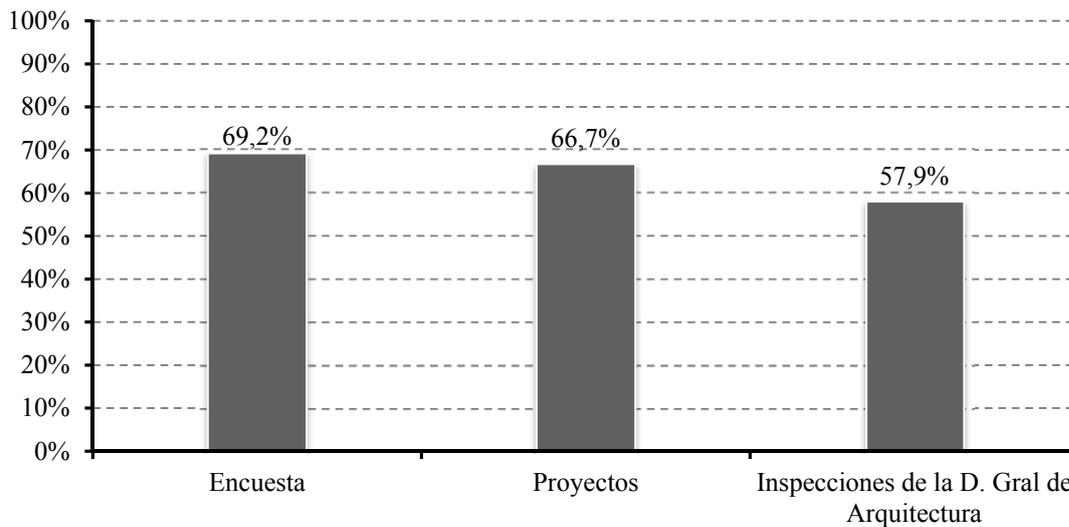


Fig. 5.31. Resultados del porcentaje de edificios en donde la causa de las lesiones es debida a la corrosión

En cuanto a la causa que ha producido la corrosión de las armaduras, no parece haber un ataque único, sino que se suele producir, en combinación, carbonatación e ion cloruro. Los datos han revelado que existe un importante porcentaje de ataque por ion cloruro. La Fig. 5.32 refleja, para cada alternativa estudiada, los porcentajes de edificios con respecto al total, dependiendo del daño que ha producido la corrosión de las armaduras. Los datos extraídos de las inspecciones de la Dirección General de la Vivienda han arrojado un porcentaje de 25 % de edificios con respecto al total de los inspeccionados con presencia de ion cloruro. Este porcentaje coincide prácticamente con el extraído de la encuesta elaborada, que es un 26,9 %.

No obstante, en el análisis realizado en los proyectos de intervención estructural, este porcentaje es sensiblemente inferior, de 11,1 % del total de los proyectos de intervención. Esto induce a pensar que el ataque por ion cloruro no ha sido suficientemente tenido en cuenta por parte de los técnicos redactores de los proyectos, simplemente se ha omitido esta causa. Esta afirmación se puede sustentar en la cantidad de ensayos para determinar la presencia de ion cloruro, con un número de los mismos muy inferior al de carbonatación, por ejemplo.

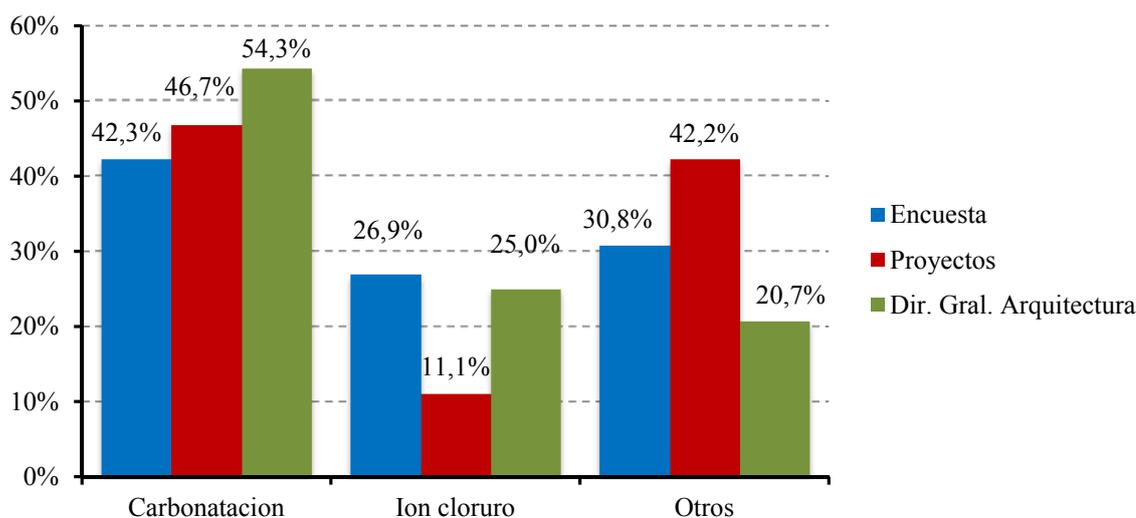


Fig. 5.32. Resumen de los porcentajes de edificios en cuanto a la causa que producen las lesiones

5.9. Clasificación de las poblaciones a través del índice de daños.

A continuación se pretende realizar una clasificación de las poblaciones analizadas, atendiendo al porcentaje de edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar presentes en las poblaciones que manifiestan lesiones estructurales y el nivel de daños de esas lesiones.

Para ello, se va a emplear un índice de daños que represente el estado del parque inmobiliario para cada población. Para calcular este índice, se usa el método de ponderación de variables (Barba-Romero et al. 1997). Como describe Casanova (2014): “Los métodos de ponderación de variables posibilitan la asignación de pesos a los criterios de decisión para representar la importancia relativa que el decisor otorga a cada criterio”. Este método consiste en realizar una valoración de los datos, a partir de una escala cualitativa. Esta escala permite dotar a cada valor de la importancia relativa que tiene cada uno.

Para aplicar este método, se calcula el porcentaje de edificios dentro de cada nivel de daños con respecto al total presente en la población. Este porcentaje se multiplicará por un peso, acorde a la escala predefinida en la Tabla 5.3. El índice de daños para cada población será el resultado de sumar los valores ponderados de cada nivel de daño.

Para poder comparar las poblaciones es necesario que el índice de daños represente al total del parque inmobiliario de segunda residencia en bloque plurifamiliar de cada población. Por ello, el porcentaje de edificios dentro de cada nivel de daños estructurales se realizará para todo el parque inmobiliario de esta tipología

A continuación se presenta la Tabla 5.9 en donde se puede apreciar los porcentajes de edificaciones dependiendo del nivel de daños en su estructura, con respecto al total del parque inmobiliario de esta tipología presentes en cada población.

Tabla 5.9.

Porcentaje de edificios, por poblaciones, dentro de cada nivel de daños con respecto al total de edificios

Poblaciones analizadas	Porcentajes Nivel 2 con respecto al total de edificios	Porcentajes Nivel 3 con respecto al total de edificios	Porcentajes Nivel 4 con respecto al total de edificios
Peñíscola	6,6%	22,0%	11,5%
Torreblanca	6,5%	19,5%	13,0%
Oropesa del Mar	4,8%	20,4%	8,8%
Benicàssim	9,1%	19,4%	9,5%
Moncofa	7,5%	11,7%	0,8%
El Puig	6,8%	37,8%	3,4%
Pobla de Farnals	7,7%	43,1%	9,2%
Port Saplaya	4,0%	38,8%	16,3%
El Saler	20,0%	50,0%	15,0%
El Perellonet	23,3%	23,4%	9,3%
Cullera	7,4%	15,8%	8,8%
Tavernes de la Vallidigna	7,0%	23,3%	11,7%
Xeraco	3,3%	17,9%	4,9%
Calpe	4,5%	20,4%	10,1%
Playa de San Juan	8,4%	16,6%	3,0%

La elección del peso que se otorga a cada nivel se efectúa para los niveles 2, 3 y 4 a partir de la Tabla 5.1. Esta elección se ha realizado atendiendo a criterios basados en la experiencia adquirida a través de la realización de esta tesis doctoral. En la Tabla 5.10 se incluye la escala para dar un peso a los valores, donde se numera del 1 al 100, según la menor o mayor importancia de cada variable. La selección del rango de valores del 1 al 100 se ha debido a criterios matemáticos. En este caso, para poder disponer de un rango suficientemente elevado que permita extrapolar este método a todos los núcleos urbanos de la costa valenciana.

Al nivel 4 de daños se le otorga el peso máximo, en este caso de 100. Al nivel 3 de daños (daños de importancia moderada), se le otorga un valor del peso intermedio, en este caso 50. Al Nivel 2 de daños, se le otorga un peso correspondiente al 10 % del peso máximo, debido a

que en este nivel, los daños revisten poca importancia y se pueden extrapolar a este valor.

Tabla 5.10.

Escalas de importancia de los niveles de daños en los edificios

Nivel 2 de daños Poca Importancia	Nivel 3 de daños Importancia moderada	Nivel 4 de daños Importancia alta
10	50	100

Aplicando los pesos reflejados en las Tabla 5.9 a los porcentajes presentes en la Tabla 5.10, se obtiene el índice de daños para cada población. En la Tabla 5.11 se puede apreciar, para cada población el valor de aplicar el peso a cada porcentaje del nivel de daños y el índice de daños:

Tabla 5.11.

Índices para cada nivel de daños e índice de daños para cada población

Poblaciones analizadas	Índice para los daños de nivel 2	Índice para los daños de nivel 3	Índice para los daños de nivel 4	Índice de daños
Peñíscola	0,66	11,00	11,48	23,1
Torreblanca	0,65	9,75	13,04	23,4
Oropesa del Mar	0,48	10,20	8,84	19,5
Benicàssim	0,91	9,72	9,48	20,1
Moncofa	0,75	5,83	0,83	7,4
El Puig	0,68	18,90	3,45	23,0
Pobla de Farnals	0,77	21,54	9,23	31,5
Port Saplaya	0,40	19,39	16,33	36,1
El Saler	2,00	25,00	15,00	42,0
El Perellonet	2,33	11,70	9,30	23,3
Cullera	0,74	7,90	8,80	17,4
Tavernes de la Valldigna	0,70	11,65	11,70	24,0
Xeraco	0,33	8,94	4,88	14,1
Calpe	0,45	10,20	10,13	20,8
Playa de San Juan	0,84	8,30	3,00	12,1

A partir de la Tabla 5.11 se puede realizar la clasificación de las localidades atendiendo al índice de daños. El resultado se plasma en la Fig. 5.33.

Como se puede observar en la Fig. 5.33, es evidente que la antigüedad del parque inmobiliario de segunda residencia de las poblaciones influye en gran medida en la proporción de estos inmuebles que presentan daños, como se puede apreciar en el caso de Pobla de Farnals, Torreblanca y el Perellonet, donde el porcentaje de edificios con daño estructural es importante. No obstante, en Port Saplaya y El Saler el índice de daños es superior, aunque la antigüedad de las edificaciones no es tan alta. El caso de Playa de San Juan es significativo,

ya que el parque inmobiliario de esta población tiene una antigüedad parecida a, por ejemplo, Pobl de Farnals. Sin embargo, su índice de daños es muy inferior al que presenta esta última.

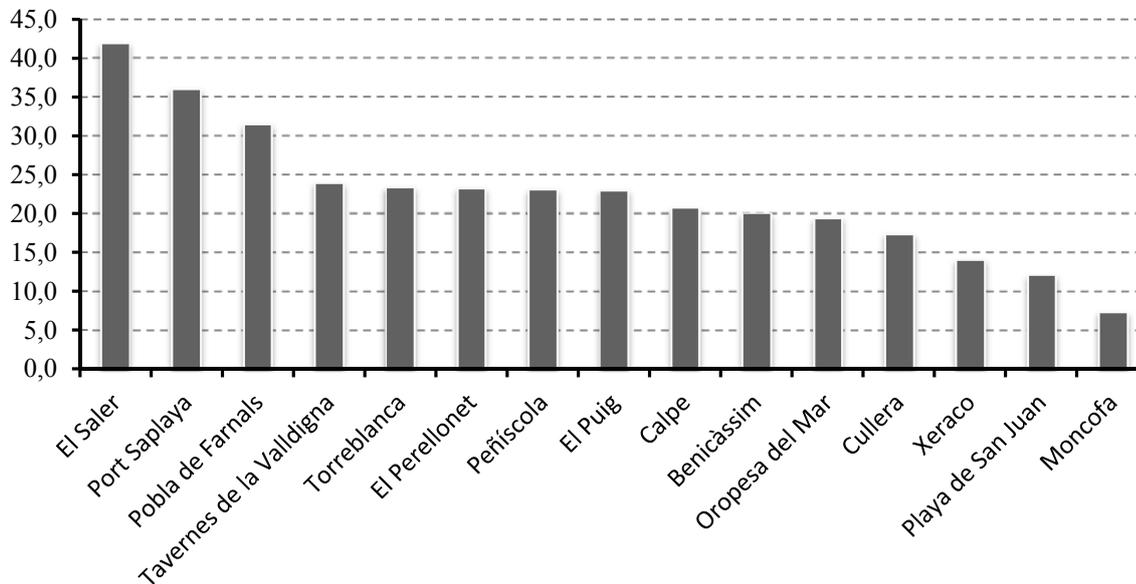


Fig. 5.33. Clasificación de las poblaciones atendiendo a su índice de daños

Tal y como se ha comprobado en el *Apartado 5.3.2* de la inspección in situ, y en los *Apartados 5.4.1* y *5.5.1*, los daños en este tipo de edificaciones se concentran en la fachada. Así mismo, se ha visto en la Fig. 5.32, la importancia que tiene la presencia de ion cloruro en este tipo de edificaciones.

A la vista de todos estos datos, se hace necesario conocer cómo afecta el grado de exposición de las poblaciones, así como la edad del parque inmobiliario de segunda residencia presente en ellas y el tipo de crecimiento urbanístico, en este índice de daños.

5.10. Conclusiones relativas al *Capítulo 5*

Es evidente que los datos obtenidos en cuanto al porcentaje de edificaciones afectadas de lesiones patológicas refleja que existe un importante número de las mismas con daños en elementos estructurales. Este porcentaje varía en función de la población que se trate. En general, núcleos urbanos con tradición en turismo de segunda residencia, por lo tanto, con edificaciones más antiguas, disponen de un porcentaje mayor. No obstante, poblaciones con edificaciones menos antiguas, como puede ser Port Saplaya, Tavernes de la Vallidigna o Calpe, el porcentaje también es elevado, rondando en este caso el 40 %.

Con respecto al nivel de daños, existe un significativo porcentaje de edificaciones de segunda

residencia en bloque plurifamiliar con un nivel de daños tipo 4, en torno a un 20-30 % que atendiendo a la Tabla 5.1 representan lesiones tipo desprendimientos de recubrimiento, pérdida de sección en el armado y daños por corrosión alta. Además, mediante la inspección in situ realizada, se ha podido comprobar que existe una proporción en torno al 30 % de edificaciones con ese nivel 4 en núcleos urbanos como, por ejemplo, Torreblanca, Peñíscola, Cullera o Calpe.

Los elementos estructurales situados en las fachadas, tales como frentes de forjados, frentes de terraza y vigas planas que sobresalen de la línea de fachada son los lugares en donde se produce una mayor concentración de lesiones, a tenor de los datos extraídos de la inspección in situ, de los proyectos de intervención estudiados, de la encuesta y de las inspecciones realizadas por la Dirección General de la Vivienda.

La principal causa de lesiones estructurales en esta tipología de edificios es la debida a la corrosión de las armaduras. Los datos analizados mediante la encuesta realizada y las inspecciones llevadas a cabo por la Dirección General de la Vivienda, revelan que hay un importante porcentaje de edificios de segunda residencia con presencia de ion cloruro, en torno a un 25 %. En cambio, en los datos extraídos de los proyectos de intervención, la proporción baja hasta menos de la mitad. Analizando los proyectos, se aprecia que existe un número muy reducido en donde se ha procedido a la realización de ensayos para detectar la presencia de iones cloruro en el hormigón. Entre las causas descritas en las memorias prevalece la carbonatación como ataque predominante, no considerando la presencia de los iones despasivantes como origen de la corrosión.

El índice de daños ha permitido realizar una clasificación de las poblaciones analizadas, atendiendo al porcentaje de edificios de segunda residencia que presentan lesiones estructurales y al nivel de esos daños.

Es evidente que la antigüedad del parque inmobiliario de segunda residencia de las poblaciones influye en gran medida en la proporción de estos inmuebles que presentan lesiones. No obstante, la clasificación de poblaciones por el índice de daños, ha demostrado que existen poblaciones donde la antigüedad de los edificios es menor con respecto a otros núcleos urbanos pero, en cambio, disponen de un índice mucho mayor.

Por todo ello, se hace necesario conocer cómo afectan las variables estudiadas en el *Capítulo 3*, en este índice de daños.

CAPITULO 6. VULNERABILIDAD DE LAS POBLACIONES DEL LITORAL VALENCIANO AL AMBIENTE MARINO. FACTORES DE VULNERABILIDAD

6.1. Introducción

En las conclusiones del *Capítulo 5* se ha visto la necesidad de realizar un análisis más pormenorizado de la vulnerabilidad a los agentes agresivos y cómo afecta esta vulnerabilidad al parque inmobiliario de segunda residencia en bloque plurifamiliar.

En este *Capítulo 6* se pretende efectuar una primera aproximación al estudio de la vulnerabilidad de las poblaciones a través de un análisis más detallado de las variables presentadas en el *Capítulo 3*. Este análisis se particulariza para el parque inmobiliario de segunda residencia presente en los núcleos urbanos. Las variables analizadas son:

- Viento dominante.
- Situación.
- Precipitaciones.
- Distancia a la costa.
- Antigüedad del parque inmobiliario de segunda residencia.
- Crecimiento urbanístico.

Para facilitar el estudio de las variables, se ha propuesto una cuantificación de éstas a través de lo que se ha denominado a efectos de este trabajo como factores de vulnerabilidad. Estos factores de vulnerabilidad permiten realizar una clasificación atendiendo a la importancia que tiene la variable analizada en cada población. La determinación de los factores de vulnerabilidad se ha efectuado con criterios basados en la experiencia adquirida a través de la realización de esta Tesis Doctoral, sin omitir la componente subjetiva inherente a este criterio.

Un segundo paso ha consistido en establecer la influencia que puedan tener las variables de vulnerabilidad analizadas en este trabajo en el estado actual del parque inmobiliario de segunda residencia. Para ello, a partir de los factores de vulnerabilidad de las poblaciones, se plantea una primera valoración mediante métodos estadísticos que permite comparar estas variables con el índice de daños reflejado en el *Capítulo 5*. A través de esta comparación, se

obtienen unos coeficientes de importancia. Esta primera valoración servirá de base para una futura investigación que determine con mayor precisión la vulnerabilidad de las poblaciones.

Este trabajo se ha realizado para diferentes poblaciones que, por sus características de exposición y crecimiento, representan la práctica totalidad de la casuística de los núcleos urbanos del litoral valenciano.

6.2. Poblaciones analizadas en la costa valenciana

Se ha escogido una serie de núcleos urbanos de la costa valenciana para realizar un estudio pormenorizado de su vulnerabilidad. Las poblaciones no se han elegido de forma arbitraria, sino que se ha pretendido que sus características se puedan extrapolar al conjunto de todo el litoral valenciano. Para ello, se realiza una primera discriminación atendiendo al predominio del tipo de edificación de segunda residencia: tipología unifamiliar o tipología plurifamiliar.

Para poder realizar esta distinción, se ha recurrido a los datos reflejados en el proyecto “Estrategias para la Regeneración Sostenible de Asentamientos Turísticos en la Costa Mediterránea (ERAM)” (Mas et al. 2015). En concreto, se ha consultado los planos donde existe una clasificación de los tipos de agrupaciones residenciales presentes en todo el litoral valenciano. Así ha sido posible disponer de una referencia para realizar la catalogación de las poblaciones, según el predominio de cada tipología edificatoria. En los casos donde no ha sido posible constatar en los planos un dominio claro de una u otra tipología, se han usado los datos pertenecientes a la Dirección General del Catastro (Dirección General del Catastro 2015). El criterio adoptado para delimitar si existe predominio de una tipología u otra, es que el porcentaje de una de las dos tipologías, en una misma población, esté por encima del 60%. En la Tabla 6.1 se representan la totalidad de los núcleos urbanos de la costa valenciana, junto con la tipología edificatoria que predomina en cada uno de ellos.

De la Tabla 6.1 se puede extraer el número de poblaciones donde prevalecen los bloques plurifamiliares, que son objeto de estudio en esta Tesis Doctoral. En total, existen 30 núcleos urbanos donde predominan los bloques plurifamiliares, que se distribuyen por provincias como sigue:

- Provincia de Castellón. 10 de 15 núcleos urbanos, que corresponden a un 67% del total de la provincia.
- Provincia de Valencia. 15 de 23 núcleos urbanos, que corresponde a un 65% del total de la provincia.
- Provincia de Alicante. 5 de 22 núcleos urbanos, que corresponde a un 21% del total de la provincia.

Tabla 6.1.

Predominio del tipo de edificación en los núcleos urbanos costeros

Provincia	Núcleos urbanos	Predominio Unifamiliar	Predomina Bloque	Provincia	Núcleos urbanos	Predominio Unifamiliar	Predominio Bloque
Castellón	Vinaroz		X	Valencia	Xeraco		X
Castellón	Benicarló		X	Valencia	Grau de Gandía		X
Castellón	Peñíscola		X	Valencia	Daimús	X	
Castellón	Alcossebre		X	Valencia	Guardamar de la Safor	X	
Castellón	Capicorp	X		Valencia	Bellreguard	X	
Castellón	Torreblanca		X	Valencia	Miramar	X	
Castellón	Oropesa del Mar		X	Valencia	Piles	X	
Castellón	Benicàssim		X	Valencia	Oliva		
Castellón	El Grao		X	Alicante	Molinell	X	
Castellón	Almassora	X		Alicante	Els Poblets	X	
Castellón	Burriana	X		Alicante	Dénia	X	
Castellón	Nules		X	Alicante	Jávea	X	
Castellón	Moncofa		X	Alicante	Benitatxell	X	
Castellón	Xilxes	X		Alicante	Moraira	X	
Castellón	Almenara	X		Alicante	Calpe		X
Valencia	Almardà (Sagunto)	X		Alicante	Mascarat (Altea)	X	
Valencia	Canet d'en Berenguer		X	Alicante	CapNegret(Altea)	X	
Valencia	Puerto de Sagunto		X	Alicante	Altea	X	
Valencia	Puçol	X		Alicante	L'Alfàs del Pi	X	
Valencia	El Puig		X	Alicante	Benidorm		Fuera de este trabajo
Valencia	Pobla de Farnals		X	Alicante	La Cala (Vila Joiosa)	X	
Valencia	Port Saplaya (Alboraya)		X	Alicante	La Vila Joiosa		X
Valencia	Pinedo	X		Alicante	El Campello	X	
Valencia	El Saler		X	Alicante	Playa San Juan (Alicante)		X
Valencia	El Perellonet		X	Alicante	Los Arenales (Elche)		X
Valencia	El Perelló(Sueca)		X	Alicante	Santa Pola	X	
Valencia	Les Palmeres		X	Alicante	Guardamar del Segura	X	
Valencia	Mareny de Barraquetes		X	Alicante	Torrevieja		X
Valencia	Mareny Blau (Sueca)		X	Alicante	La Zenia(Orihuela)	X	
Valencia	Cullera		X	Alicante	Dehesa(Orihuela)	X	
Valencia	Tavernes de la Valldigna		X	Alicante	Pilar de la Horadada	X	

Para que haya una proporción equivalente, atendiendo a las provincias de la Comunidad Valenciana, se eligen las poblaciones objeto del análisis considerando el porcentaje reflejado en el párrafo anterior. Por provincias, se observa que en Alicante, hay un predominio de poblaciones con edificaciones de segunda residencia de tipo unifamiliar, de ahí que el número de núcleos urbanos estudiados en esta provincia sea menor. Se excluye la localidad de Benidorm debido a sus características singulares en relación al tamaño del núcleo poblacional, tipo de urbanismo o régimen turístico a base de estancias regladas, diferente a las demás poblaciones, tal y como se especificaba en el *Capítulo 1*.

En la Fig. 6.1 se indican los núcleos de población escogidos, con su ubicación dentro de la Comunidad Valenciana.

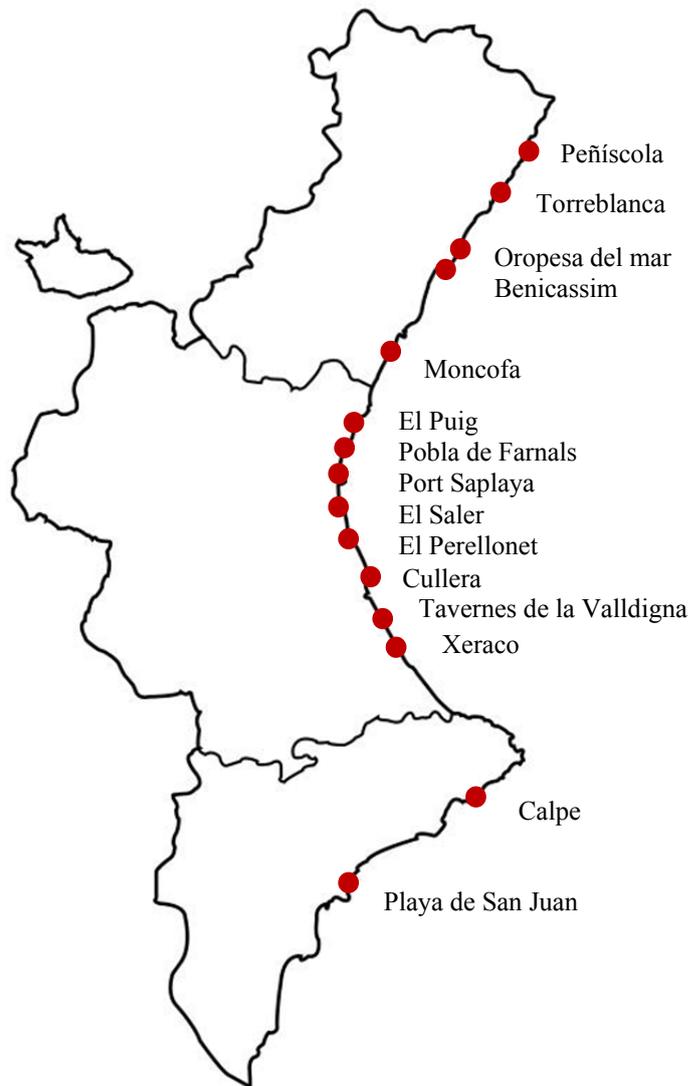


Fig. 6.1. Poblaciones analizadas

Las poblaciones seleccionadas para el estudio pormenorizado son:

- En la provincia de Castellón: Peñíscola, Torreblanca, Oropesa del Mar, Benicàssim y Moncofa.
- En la provincia de Valencia: El Puig, Poble de Farnals, Port Saplaya, El Saler, El Perellonet, Cullera, Tavernes de la Valldigna y Xeraco.
- En la provincia de Alicante: Calpe y Playa de San Juan.

Se han elegido cinco poblaciones en Castellón y ocho poblaciones en Valencia. Esta diferencia se debe principalmente a que, en cuanto a las variables analizadas, en la provincia de Valencia existe una mayor diversidad, tal y como se podrá observar más adelante.

Tabla 6.2.

Características principales de los núcleos urbanos escogidos

Núcleos urbanos	Orografía	Distancia a costa	Situación prioritaria	Ubicación NPnE	Viento Dominante	Crecimiento urbanístico	Período construcción
Peñíscola	Planicie y Serranía	0m - 50 m 50m-100m	1ª línea	En Costa	E-SE	Lineal y Manzana cerrada	Todos
Torreblanca	Planicie	50m-100m	1ª línea	Alejado	S-SSE	Manzana cerrada	Todos
Oropesa del Mar	Planicie y Serranía	50m-100m > 100 m	2ª línea	En Costa	S-SSE	Adaptado y Lineal	Todos
Benicàssim	Planicie	50m-100m	2ª línea	En Costa	ESE	Lineal	1 y 2 período
Moncofa	Planicie	> 100 m	2ª línea	En Costa	S-SE	Manzana cerrada y Manzana urbana	5 período
El Puig	Marjal	> 100 m	2ª línea	Alejado	ENE	Lineal	2 período
Poble de Farnals	Marjal	> 100 m	2ª línea	Alejado	ESE	Lineal	1 y 2 período
Port Saplaya	Lineal	50m-100m	1ª línea	Alejado	ESE	Manzana urbana	3 y 5 período
El Saler	Planicie	> 100 m	2ª línea	Alejado	ESE	Lineal	2 período
El Perellonet	Planicie	50m-100m	2ª línea	Alejado	S	Lineal	1 y 2 período
Cullera	Planicie y Serranía	0m - 50 m	2ª línea	En Costa	ENE	Manzana cerrada	1 y 2 período
Tavernes de la Valldigna	Planicie	> 100 m	2ª línea	Alejado	ENE	Lineal	Todos
Xeraco	Planicie y marjal	> 100 m	2ª línea	Alejado	NE	Lineal	3 y 4 período
Calpe	Planicie y Serranía	50m-100m	2ª línea	En Costa	SSO	Adaptado y Lineal	Todos
Playa de San Juan	Planicie	> 100 m	2ª línea	Alejado	O-NO	Lineal	1 y 2 período

Para poder corroborar que las poblaciones escogidas engloban un gran porcentaje de la

casuística existente en el litoral valenciano, en la Tabla 6.2 se muestran, para cada población: las características orográficas, la distancia a la costa predominante de los edificios de segunda residencia, la situación prioritaria de estas edificaciones con respecto a la línea de playa, la ubicación del *núcleo poblacional no estacionario* (a partir de ahora NPnE) con respecto a la costa, el viento dominante, el tipo de crecimiento urbanístico soportado y el período de construcción característico.

Se aprecia en la Tabla 6.2 que la orografía, la distancia a la costa y la situación del núcleo poblacional no estacionario (NPnE) engloban todas las posibles variaciones descritas en el *Capítulo 3*. Con respecto al crecimiento urbano característico de las poblaciones, se observa que se han escogido núcleos urbanos con diferentes tipologías de crecimiento, abarcando la práctica totalidad de la casuística. En cuanto al año de construcción predominante de las edificaciones de segunda residencia, comprenden todos los períodos analizados en este trabajo.

Por todo lo comentado, se puede concluir que los núcleos de población escogidos y estudiados en este *Capítulo* son representativos del resto de núcleos urbanos presentes en la costa valenciana.

Es de resaltar la particularidad de El Saler que, al situarse en una zona declarada protegida, no se ha permitido hasta ahora el mantenimiento ni las reparaciones de las edificaciones ubicadas en este entorno.

6.3. Criterios para determinar los factores de vulnerabilidad de las poblaciones

Dado que una de las finalidades de este *Capítulo* es establecer la vulnerabilidad de las poblaciones escogidas a través del estudio de las variables definidas en el *Capítulo 3*, es necesario definir un criterio que pueda ayudar a cuantificar estas variables. Para ello, se establecen unos factores de vulnerabilidad. Estos factores de vulnerabilidad son unos valores numéricos que determinan la importancia de la variable en la población seleccionada.

Para poder determinar los factores de vulnerabilidad, se va a emplear el método de ponderación de variables (*Barba-Romero et al. 1997*), tal y como se ha aplicado en el *Apartado 5.9* de la presente Tesis Doctoral. Como se ha comentado en el *Apartado 5.9*, este método consiste en realizar una valoración de los datos, comparándolos entre sí, dependiendo de la importancia relativa que se le quiera otorgar, a partir de una escala cualitativa de pesos predefinida. En la Tabla 6.3 se incluye la escala para dar un peso a los valores, donde se numera del 1 al 20, según la menor o mayor importancia de cada variable. Cabe señalar que

los pesos asignados son diferentes a los empleados en el *Apartado 5.9*. Ello es debido a que existe un número mayor de variables objeto de estudio, con lo que para poder realizar la comparación de resultados, es necesario que exista esa diferencia.

Tabla 6.3.

Escalas de importancia de un valor con respecto a la exposición a ambiente marino

Poca Importancia	Importancia débil	Importancia moderada	Importante	Muy Importante
1	5	10	15	20

En las variables que son cuantificables, como por ejemplo, la velocidad del viento y el régimen pluviométrico, la clasificación es directa, ya que dependiendo de los valores de las mismas, es posible determinar el factor de vulnerabilidad en el que puede verse afectada cada población. Sin embargo, con otras variables cualitativas, la clasificación numérica dependerá de un cierto grado de subjetividad, que habrá que reducir a un mínimo.

Para determinar el factor de vulnerabilidad en las variables de tipo cualitativo, el total de edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar de cada población se distribuirá entre las opciones de cada variable. Se calcula el porcentaje de edificios dentro de cada opción con respecto al total. Este porcentaje se multiplicará por un peso, acorde a la escala predefinida en la Tabla 6.3. El factor de vulnerabilidad de cada población con respecto a la variable será el resultado de sumar los valores ponderados de ésta.

La elección del peso que se otorga a cada opción de las variables se ha realizado atendiendo a criterios basados en la experiencia adquirida a través de la realización de esta Tesis Doctoral. En la Tabla 6.4 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 6.4.

Aplicación de la ponderación sobre las variables estudiadas a partir de los pesos dados a los valores

Variable estudiada	Pesos dados a cada factor dentro de la variable				
Situación	1ª línea	2ª línea	--	--	--
	20	10	--	--	--
Distancia a la Costa	0 - 50 m	50 m-100 m	>100 m	--	--
	20	10	5	--	--
Período de Construcción	1ª etapa	2ª etapa	3ª etapa	4ª etapa	5ª etapa
	20	15	10	5	1
Crecimiento Urbanístico	Manzana cerrada	Manzana Abierta	Lineal	Adaptado	Macro-urbanización
	15	10	5	20	1

El criterio seguido para desarrollar la Tabla 6.4 es el siguiente:

- Situación: se ha elegido el peso máximo para primera línea, debido a que estos edificios tienen una exposición a la niebla salina directa. En cambio, los edificios en segunda línea, están protegidos de la exposición directa por los edificios en primera línea, por lo que se le ha dado un valor de 10. Es necesario aclarar que la segunda línea puede tener diferente exposición, según la distancia al mar y los edificios que se sitúen entre ésta y el inmueble analizado. No obstante, esta diferenciación es suficiente a efectos de calificar la exposición de las poblaciones a esta variable.
- Distancia a la costa: tal y como se ha visto en el *Capítulo 2*, la salinidad en la atmósfera marina va descendiendo a medida que nos vamos alejando de la costa siguiendo una relación de tipo exponencial. Por ello, a partir de la división de la distancia especificada en el *Capítulo 3*, se toma en consideración que los edificios ubicados a una distancia menor de 50 metros, disponen de un grado elevado de exposición, por lo que se le otorga el máximo peso posible. En los edificios situados en la segunda franja, el grado de salinidad ha disminuido exponencialmente, por lo que se les otorga un peso de 10. A más de 100 metros, el peso dado a los edificios en esta franja es de 5, ya que se considera de importancia débil con respecto a las otras dos.
- Período de construcción: Se le otorga el peso máximo al primer período, debido a la antigüedad de las edificaciones, con una edad mayor de 40 años. Lo mismo ocurre con los edificios construidos en el segundo período, pero en este caso se considera menor la influencia, con lo que se dota de un peso de 15. El mismo criterio ha sido escogido para el tercer y cuarto período, donde la antigüedad no es tan significativa. El último período dispone de muy poca importancia para determinar un nivel de vulnerabilidad, por lo que se le asocia un peso de 1.
- Crecimiento urbanístico: Al crecimiento adaptado se le otorga un peso de 20; debido sobre todo a que la orografía donde se ubica este crecimiento hace que los edificios se concentren en primera línea de playa en manzanas irregulares y de gran compacidad. El crecimiento en macro urbanización se ha considerado que tiene poca importancia, debido a su concepción y su ubicación, tal y como se ha visto en el *Capítulo 3*, por lo que se le asigna un peso de 1. Se le otorga un peso de 15 a la manzana cerrada, debido a la compacidad de las manzanas, que las hace proclive a la acumulación de salinidad en las fachadas debido al efecto pantalla.

6.4. Factor de vulnerabilidad de las poblaciones estudiadas en función de la exposición a los agentes atmosféricos

Para poder determinar el grado de vulnerabilidad a los agentes atmosféricos de los núcleos urbanos estudiados, es necesario estudiar éste para el régimen de vientos de las distintas poblaciones analizadas. También se determinará el factor de vulnerabilidad para la climatología atendiendo a las variaciones de temperatura y el régimen de precipitaciones de las diferentes poblaciones.

6.4.1. Viento dominante

Para establecer la vulnerabilidad de las poblaciones según el régimen de vientos, se ha estudiado la influencia del viento marítimo en ellas. Para ello, se analiza la dirección predominante dentro de los vientos que proceden del mar, y su velocidad. El análisis de la velocidad en esa dirección se lleva a cabo extrayendo la media de las velocidades máximas durante la época analizada y la velocidad media. Es necesario señalar que, según los datos extraídos de *AEMET (2015)*, la velocidad media se considera ajustada a partir de las horas de viento anuales en esa dirección.

La Tabla 6.5 muestra la dirección dominante de los vientos marítimos, la media de las velocidades máximas y la velocidad media global en esa dirección (en km/h). Las velocidades máximas y media se han extraído de los datos de las estaciones meteorológicas próximas a los núcleos poblacionales. Como se puede apreciar, prácticamente en todas las poblaciones seleccionadas, la dirección del viento dominante proveniente del mar, coincide con el viento dominante obtenido en el *Capítulo 3*. Cabe señalar que en la población de El Perellonet, la dirección del viento dominante es de componente sur (S). En este caso, la situación de la Gola del Perelló, ubicada al sur de El Perellonet, permite clasificar esta dirección como proveniente del mar. En la playa de San Juan, existe una dirección de viento proveniente del mar que no es la dominante. No obstante y debido a la energía de la misma, se considera la dirección del mar a efectos de este trabajo.

Como se ha descrito en el apartado del *Capítulo 2* al describir los factores externos que afectan a la exposición, existe una alta concentración de salinidad transportada por el aire por encima de una velocidad del viento de 10,8 km/h (3 m/s) (*Ribero et al 2007, Morcillo et al 2007*). Este valor es un dato relevante que va a permitir clasificar el grado de exposición al viento de los núcleos urbanos, por lo que se tomará como valor de referencia.

Atendiendo al criterio anterior, las poblaciones situadas en la zona central y sur de la provincia de Castellón, como son Torreblanca, Oropesa del Mar, y Moncofa, presentan una

velocidad media del viento en la dirección predominante que viene del mar superior al valor de referencia, con lo que se puede determinar que disponen de un grado elevado de exposición al ambiente marino. Por otro lado, Peñíscola, Poble de Farnals, Port Saplaya, El Saler, y Calpe, muestran una velocidad media en torno a 10 km/h. Al estar próxima a la velocidad límite definida en el párrafo anterior, podemos considerar que disponen de un nivel de exposición alto. En contraposición se sitúan las poblaciones del centro de la provincia de Valencia, como es el caso de Cullera, Tavernes de la Valldigna y Xeraco, así como la Playa de San Juan en Alicante, con una velocidad del viento inferior a los valores anteriores y, por tanto, con un nivel de exposición bajo.

Tabla 6.5.

Vientos dominantes provenientes del mar y velocidad del viento para esa dirección en las poblaciones analizadas

Núcleos urbanos	Viento dominante	Media de la velocidad máxima del viento km/h	Velocidad media global del viento km/h
Peñíscola	E-SE	12	10
Torreblanca	S-SSE	15	12
Oropesa del Mar	S-SSE	15	12
Benicàssim	ESE	12,5	8,5
Moncofa	S-SE	13	11
El Puig	E-ENE	9	7
Poble de Farnals	ESE	13	10
Port Saplaya	ESE	13	10
El Saler	ESE	13	10
El Perellonet	S	7	6
Cullera	ENE	9	7
Tavernes de la Valldigna.	ENE	9	7
Xeraco	NE	9	6
Calpe	S-SO	13	10
Playa de San Juan	NE	9	6

A continuación se procede a calcular el factor de vulnerabilidad del régimen de vientos en las poblaciones. Para ello, se realiza una extrapolación de los valores reflejados en la Tabla 6.5 para la velocidad media en la dirección predominante del viento procedente del mar. Por lo que se asocia el valor de la velocidad media del viento a 20 puntos y la mínima a 5 puntos. En las poblaciones donde existe un valor igual, la diferenciación para poder clasificarlas se realiza atendiendo a la media de la velocidad máxima de las poblaciones. El resultado se plasma en la Fig. 6.2.

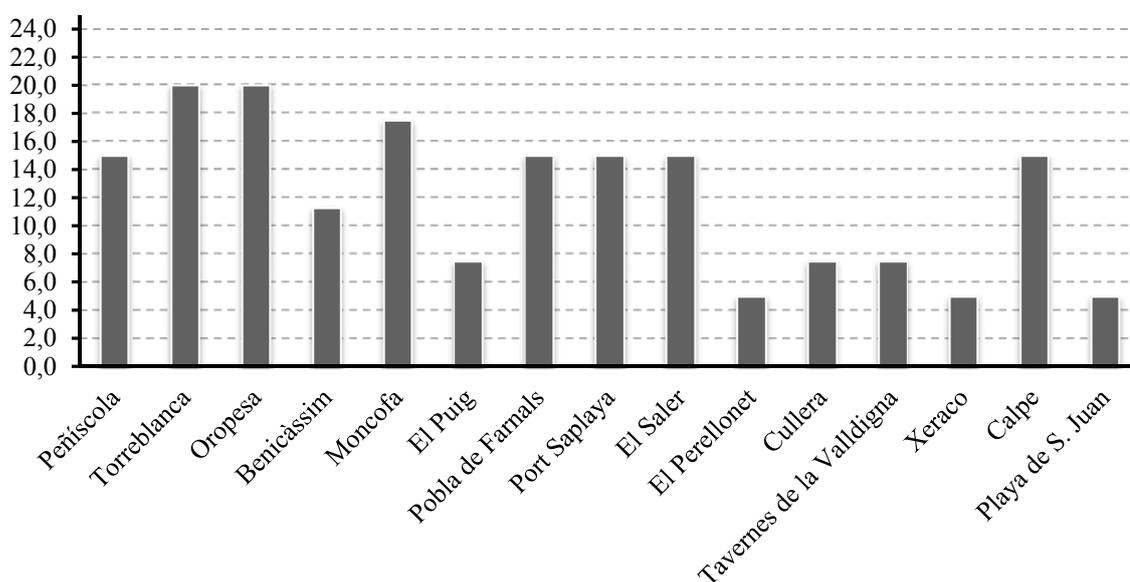


Fig. 6.2. Factor de vulnerabilidad de los núcleos urbanos con respecto al régimen de vientos dominantes

6.4.2. Influencia de la climatología

Una vez definido el factor de vulnerabilidad a la exposición al viento, se procede a determinar la vulnerabilidad de las poblaciones frente a la climatología, a través del estudio de la variación de temperaturas, régimen de precipitaciones y humedad relativa. Para ello se han obtenido datos de la Agencia Estatal de Meteorología (*AEMET 2015*) y del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (*IVIA 2015*), en el período comprendido entre 1981 y 2015. No se dispone de datos fiables anteriores a 1981 para las poblaciones estudiadas.

La Fig. 6.3 representa la media de las temperaturas, por meses, en los núcleos urbanos estudiados. Para simplificar la Fig. 6.3, las poblaciones que comparten estaciones meteorológicas se han agrupado en una misma línea.

En la Fig. 6.3 se aprecia que el rango de temperaturas no varía significativamente de una población a otra a lo largo de la Comunidad Valenciana, salvo en la localidad de Peñíscola, donde la temperatura máxima en los meses de julio y agosto es algo menor. Por esta razón, se descarta la variación de temperaturas a efectos de realizar una clasificación del factor de vulnerabilidad a la exposición de las poblaciones.

La Fig. 6.4 muestra el régimen de precipitaciones, de los núcleos urbanos seleccionados. Estas gráficas se han realizado a partir de los datos obtenidos de las series históricas de la Agencia Estatal de Meteorología. Las precipitaciones están reflejadas en mm que equivale a litros/m² (*AEMET 2015*).

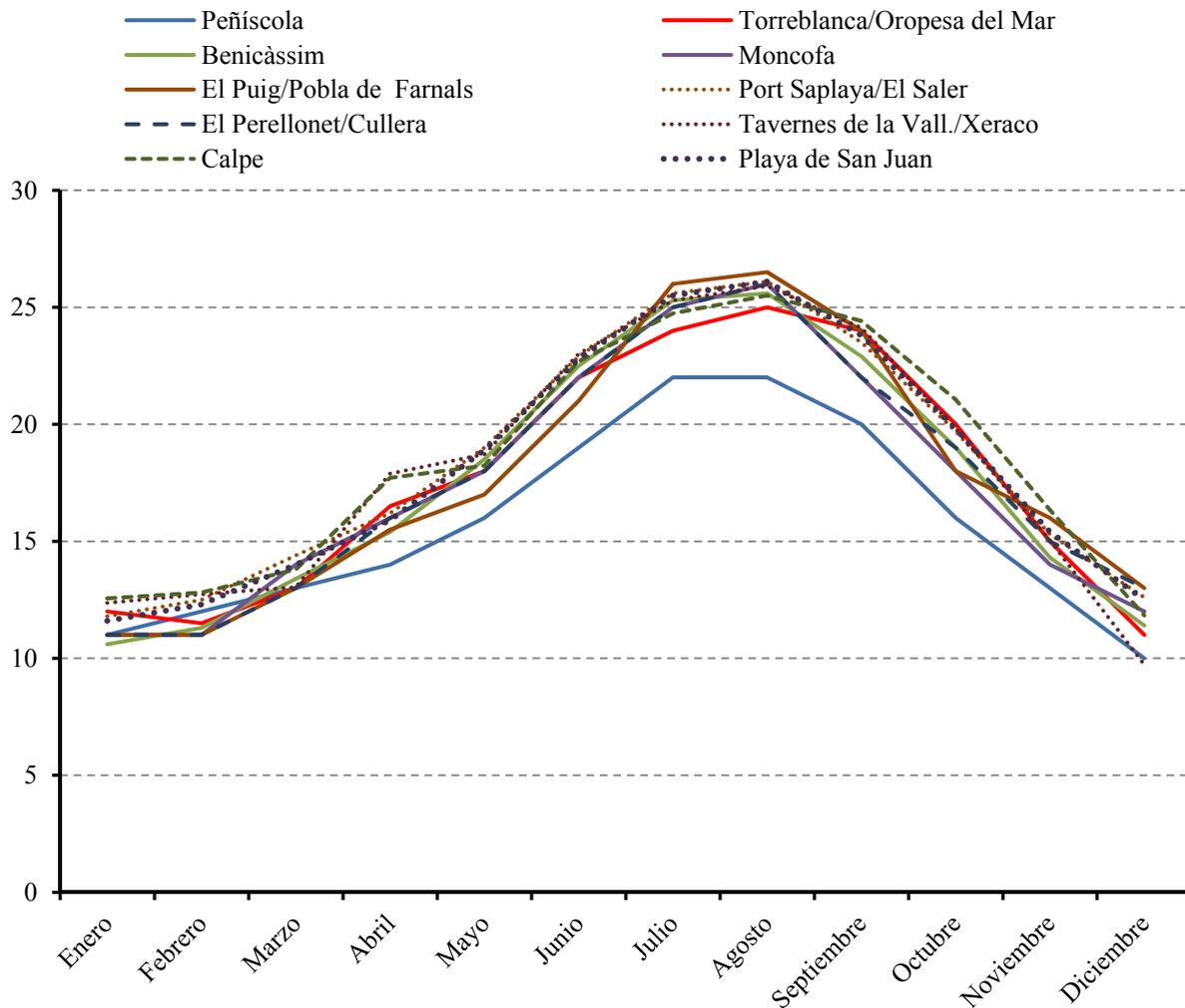


Fig. 6.3. Régimen de temperaturas en los núcleos urbanos estudiados en el período 1981-2015 , adaptado de los datos extraídos del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias

En la Fig. 6.4 se observa que, aunque las diferentes gráficas mantienen una forma similar, existe una diferencia significativa de precipitaciones entre los núcleos urbanos. En las poblaciones situadas en la zona central de la provincia de Valencia, como son Tavernes de la Valldigna, Xeraco, El Perellonet y Cullera, se producen mayores precipitaciones en los meses de septiembre y octubre, sobrepasando los 100 mm. Lo mismo ocurre para el municipio de Peñíscola. En cambio, para la población de la Playa de San Juan, en los mismos meses del año, las precipitaciones no alcanzan los 50 mm. En los meses de abril y mayo, es Peñíscola la que presenta mayores precipitaciones (alrededor de 75 mm). En contraposición, la Playa de San Juan dispone de un valor aproximado de 30 mm.

Como se ha visto en el *Capítulo 2*, el ciclo de humectación-secado influye de un modo significativo en el contenido de sales en las estructuras (*Morcillo et al. 2000, Medeiros et al.*

2013). Por lo tanto, una vez determinado el régimen de precipitaciones, sería necesario analizar los posibles ciclos de humectación-secado que soportan las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar existentes en los diferentes núcleos urbanos estudiados.

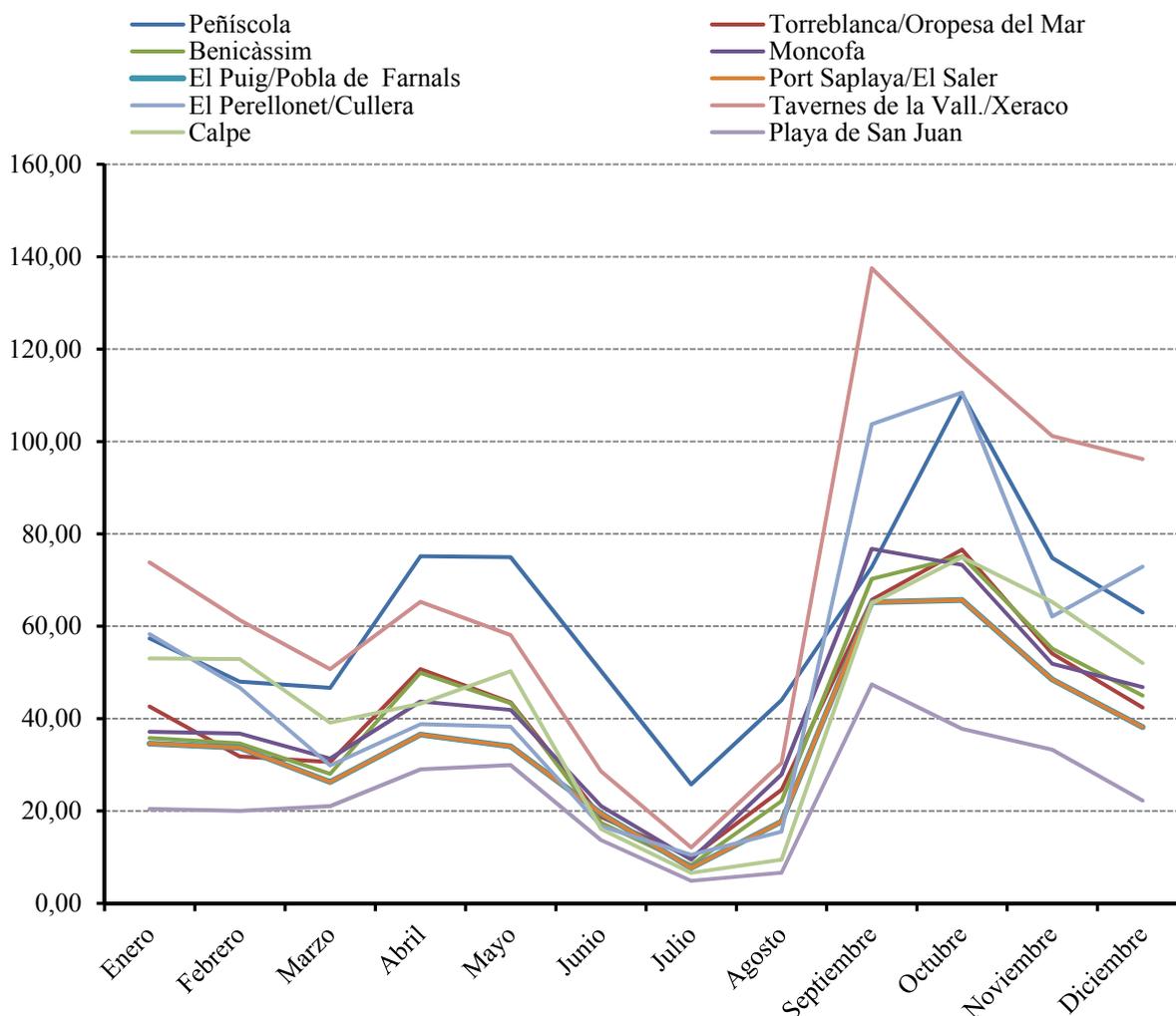


Fig. 6.4. Régimen de precipitaciones por meses de los núcleos urbanos estudiados durante el período 1981-2015 (AEMET 2015)

Tal y como se desprende de la Fig. 6.5, las poblaciones de Peñíscola, el Perellonet, Cullera, Tavernes de la Valldigna y Xeraco, además de tener un mayor valor en cuanto a la precipitación en los meses más lluviosos, disponen de una mayor diferencia de precipitaciones a nivel anual.

Al igual que se ha realizado en el Apartado 5.4.1, los datos extraídos extrapolan los valores de la Fig. 6.5, asociando un valor de 20 para el dato pluviométrico más elevado, y 5 al menor. Esto permite efectuar la clasificación de las poblaciones dependiendo del factor de

vulnerabilidad al régimen de precipitaciones (Fig. 6.6).

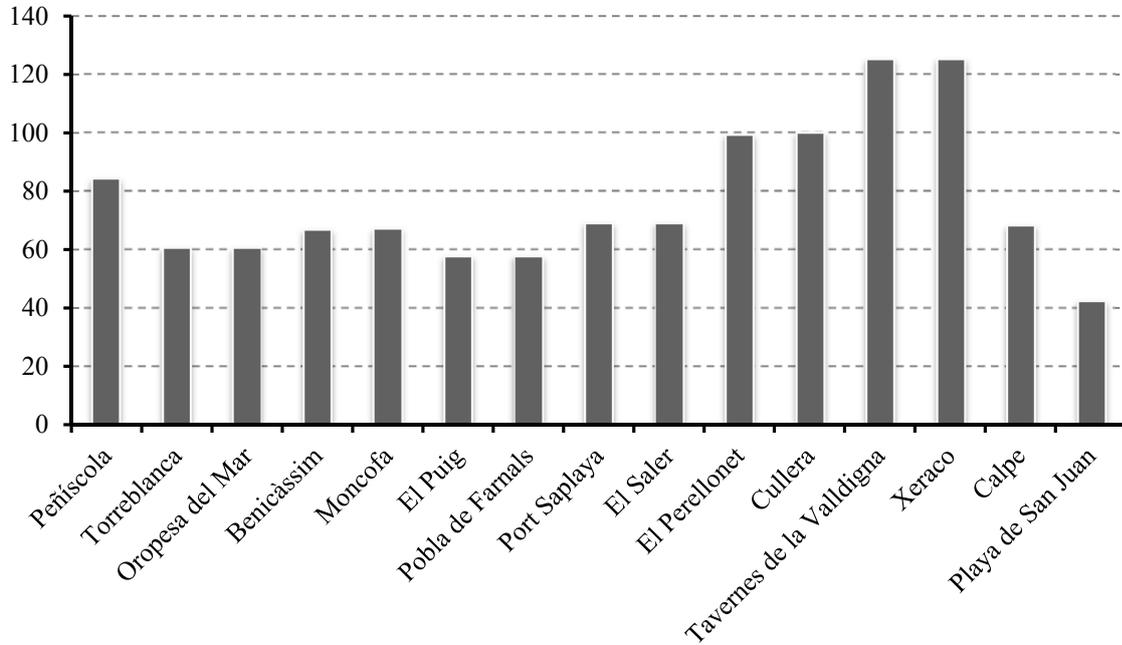


Fig. 6.5 Comparativa entre diferentes regímenes mensuales de precipitaciones

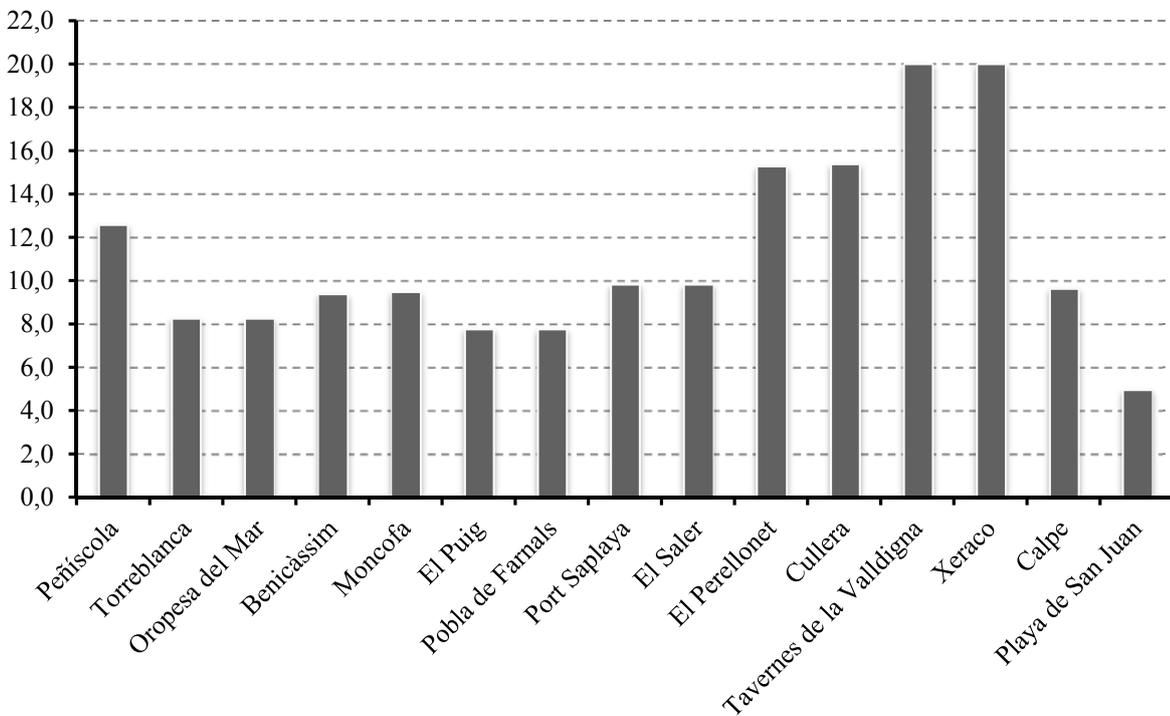


Fig. 6.6 Factor de vulnerabilidad de los núcleos urbanos con respecto a la pluviometría en el período 1981-2015

6.5. Factor de vulnerabilidad en función de la ubicación de las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar

A continuación se estima el grado de vulnerabilidad de las poblaciones en función de la ubicación de sus edificios. Las variables analizadas son la distancia al mar de los edificios y su situación con respecto a la línea de costa.

6.5.1. Distancia al mar de los edificios

Tal y como se ha explicado en el *Capítulo 3*, la distancia al mar de los edificios se divide en tres franjas diferenciadas:

- 1ª franja: entre 0 y 50 metros.
- 2ª franja: entre 50 y 100 metros.
- 3ª franja: más de 100 metros.

Tabla 6.6.

Número de edificaciones de segunda residencia según la distancia a la costa

Núcleos urbanos	Distancia a la Costa		
	0 m a 50 m	50 m a 100 m	Más de 100 m
Peñíscola	34	42	46
Torreblanca	0	20	26
Oropesa del Mar	13	32	102
Benicàssim	0	61	150
Moncofa	0	41	199
El Puig	0	0	29
Pobla de Farnals	0	0	65
Port Saplaya	0	15	34
El Saler	0	0	20
El Perellonet	1	17	25
Cullera	24	54	172
Tavernes de la Valldigna	16	28	127
Xeraco	0	20	133
Calpe	24	40	94
Playa de San Juan	0	0	162

A partir de esta división, se han clasificado todas las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar de las poblaciones estudiadas, ordenándolas según la franja considerada. El criterio de medición de la distancia elegido es el siguiente: se toma el centro de la fachada más cercana a la playa y se mide la distancia que existe entre ese punto y la línea de costa. El

resultado se plasma en la Tabla 6.6, donde se puede apreciar el número de edificaciones, por franjas, de cada núcleo urbano. La Fig. 6.7 representa, de forma porcentual, los datos reflejados en la Tabla 6.6.

En la Tabla 6.6 y en la Fig. 6.7 se puede apreciar que existen núcleos urbanos donde la totalidad de los edificios de segunda residencia se sitúan a más de 100 metros de la línea de costa, como es el caso de El Puig, Poble de Farnals, El Saler y la Playa de San Juan. Este dato se justifica por la existencia de playas con una gran superficie de arena, como es el caso de la Playa de San Juan, o bien por la ubicación en primera línea de playa de edificaciones de tipo unifamiliares o dedicadas al sector servicios, como es el caso de El Puig o Poble de Farnals. En el otro extremo se sitúan localidades como Peñíscola, Oropesa del Mar, Cullera y Calpe, donde existe un porcentaje alto de edificios a una distancia de la costa inferior a 50 metros. Estos núcleos urbanos suelen estar ubicados en zonas donde no existe playa como tal, o ésta es de dimensiones reducidas, propia de una orografía de tipo serranía.

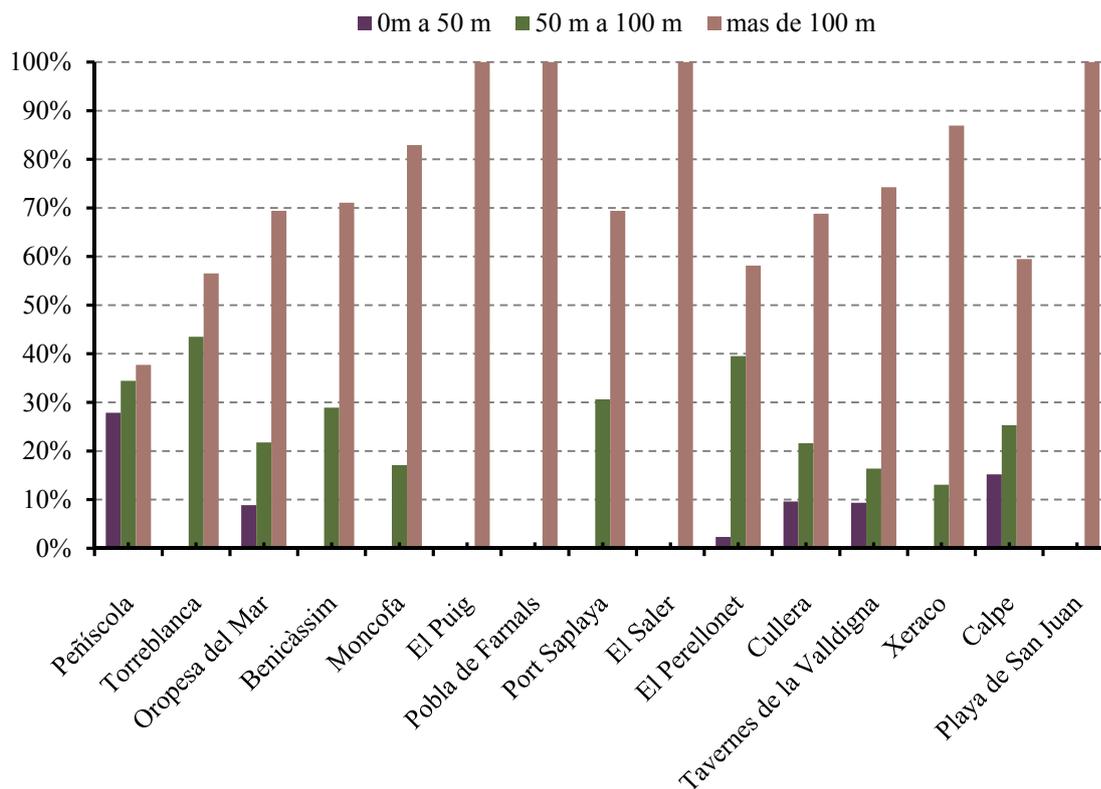


Fig. 6.7. Gráfico comparativo con el porcentaje de edificaciones en las diferentes franjas de distancia a la costa

Para poder determinar el factor de vulnerabilidad de las poblaciones en función de la distancia a la costa de sus edificios, se van a ponderar los porcentajes de edificios de segunda residencia ubicados en las distintas franjas, con los pesos reflejados en la Tabla 6.4. El resultado se

materializa en la Tabla 6.7, donde la última columna se corresponde con la suma de todos los valores ponderados.

A la vista de los datos de la Tabla 6.7, se puede concluir que Peñíscola y Calpe disponen de una vulnerabilidad, por distancia a la costa, mayor que el resto de las poblaciones seleccionadas. En el caso de Peñíscola resulta evidente que el porcentaje de edificaciones a menos de 50 metros de la línea de costa ha influido significativamente en este valor. Por otro lado, en Torreblanca, Oropesa del Mar, El Perellonet y Cullera, el factor de vulnerabilidad también es elevado, dado que estas localidades disponen de un alto porcentaje de edificios de segunda residencia a una distancia de la costa entre 50 y 100 metros, con lo que su grado de exposición al ambiente marino es importante. En el otro lado se sitúan el Puig, Poble de Farnals, El Saler, Xeraco y Playa de San Juan, con un factor de vulnerabilidad menor.

Tabla 6.7.

Vulnerabilidad por distancia a la Costa de las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar en los núcleos urbanos estudiados

Núcleos urbanos	Pesos cualitativos por franjas			Factor de vulnerabilidad por distancia a Costa
	0m a 50 m	50 m a 100 m	más de 100 m	
Peñíscola	5,6	3,4	1,9	10,9
Torreblanca	0,0	4,3	2,8	7,2
Oropesa del Mar	1,8	2,2	3,5	7,4
Benicàssim	0,0	2,9	3,6	6,4
Moncofa	0,0	1,7	4,1	5,9
El Puig	0,0	0,0	5,0	5,0
Poble de Farnals	0,0	0,0	5,0	5,0
Port Saplaya	0,0	3,1	3,5	6,5
El Saler	0,0	0,0	5,0	5,0
El Perellonet	0,5	4,0	2,9	7,3
Cullera	1,9	2,2	3,4	7,5
Tavernes de la Valldigna	1,9	1,6	3,7	7,2
Xeraco	0,0	1,3	4,3	5,7
Calpe	3,0	2,5	3,0	8,5
Playa de San Juan	0,0	0,0	5,0	5,0

6.5.2. Situación con respecto a la línea de costa

Se ha efectuado una diferenciación de las poblaciones atendiendo a la situación de sus edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar. Para ello, se han adoptado las alternativas reflejadas en el *Apartado 3.3.2*, del *Capítulo 3*:

- Edificaciones en primera línea de playa
- Edificaciones en segunda línea de playa

A partir de esta diferenciación en primera y segunda línea de playa, se han ordenado las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar, dentro de las poblaciones estudiadas. En la Tabla 6.8 se plasma el resultado, así como los porcentajes de las mismas.

Como se puede apreciar en la Tabla 6.8, existen poblaciones como Peñíscola, Torreblanca y Port Saplaya con un porcentaje de edificios ubicados en primera línea de playa superior al 60%. En cambio, en localidades como Moncofa, el Puig o Playa de San Juan, el porcentaje de los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar en segunda línea está próximo al 100%. En el caso de Pobla de Farnals y El Saler, el porcentaje en segunda línea de playa es del 100%. Es evidente, como se ha comentado en el anterior apartado, que la presencia de edificaciones unifamiliares o dedicadas al sector servicios influye en este porcentaje. Un caso especial es la población de El Saler, donde la propia configuración urbanística, con edificios muy alejados unos de otros e insertados dentro de un parque natural, ha provocado que estas edificaciones se encuentren bastante alejadas de la primera línea de costa.

Tabla 6.8.

Número de edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar y porcentajes con respecto a la situación a la línea costera

Núcleos urbanos	Situación		Porcentaje	
	1ª línea	2ª línea	1ª línea	2ª línea
Peñíscola	74	48	60,7%	39,3%
Torreblanca	29	17	63,0%	37,0%
Oropesa del Mar	46	101	31,3%	68,7%
Benicàssim	72	139	34,1%	65,9%
Moncofa	20	220	8,3%	91,7%
El Puig	1	28	3,4%	96,6%
Pobla de Farnals	0	65	0,0%	100,0%
Port Saplaya	34	15	69,4%	30,6%
El Saler	0	20	0,0%	100,0%
El Perellonet	21	22	48,8%	51,2%
Cullera	80	170	32,0%	68,0%
Tavernes de la Vallidigna	42	129	24,6%	75,4%
Xeraco	43	110	28,1%	71,9%
Calpe	44	109	28,8%	71,2%
Playa de San Juan	29	139	17,3%	82,7%

A partir de los porcentajes de la Tabla 6.8, se calcula el factor de vulnerabilidad en función de

la situación con respecto a la línea de costa, considerando los pesos reflejados en la Tabla 6.4. El resultado se muestra en la Tabla 6.9.

Con los datos de la Tabla 6.9, se puede concluir que núcleos urbanos como Peñíscola, Torreblanca y Port Saplaya disponen de una mayor vulnerabilidad con respecto a la situación a la línea de costa. En cambio, en poblaciones como Moncofa, El Puig, Poble de Farnals o Playa de San Juan, el factor de vulnerabilidad es moderado o bajo, si se compara con los demás núcleos urbanos estudiados.

A la vista de la Tabla 6.9, es necesario señalar que los factores de vulnerabilidad de distancia a la costa y situación deberían dar valores muy semejantes. En la distancia de 0 a 50, prácticamente la totalidad de los mismos están situados en primera línea de playa. No obstante, existen casos como Peñíscola, Torreblanca, Calpe, etc. en donde existen un número de edificios de segunda línea de playa a una distancia entre 50 y 100. Por ello está justificado esa diferencia de valores.

Tabla 6.9.

Vulnerabilidad por situación de las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar con respecto a la línea costera

Núcleos urbanos	Pesos cualitativos por franjas		Factor de vulnerabilidad por situación
	1ª línea	2ª línea	
Peñíscola	12,1	2,0	14,1
Torreblanca	12,6	1,8	14,5
Oropesa del Mar	6,3	3,4	9,7
Benicàssim	6,8	3,3	10,1
Moncofa	1,7	4,6	6,3
El Puig	0,7	4,8	5,5
Poble de Farnals	0,0	5,0	5,0
Port Saplaya	13,9	1,5	15,4
El Saler	0,0	5,0	5,0
El Perellonet	9,8	2,6	12,3
Cullera	6,4	3,4	9,8
Tavernes de la Valldigna	4,9	3,8	8,7
Xeraco	5,6	3,6	9,2
Calpe	5,8	3,6	9,3
Playa de San Juan	3,5	4,1	7,6

6.6. Factor de vulnerabilidad en función de la antigüedad de los edificios

En este apartado, se pretende determinar el grado de vulnerabilidad en función de la antigüedad del parque inmobiliario de segunda residencia en bloque plurifamiliar de las poblaciones. Para ello, se realiza una clasificación de los edificios a partir de la división en períodos descrita en el *Capítulo 3*. Para poder realizar esta clasificación, se ha recopilado información sobre el año de construcción de los edificios, a través de los datos extraídos de la Dirección General del Catastro (*Dirección General del Catastro 2015*).

La Tabla 6.10 refleja el trabajo realizado, donde se ha dividido, por períodos de construcción, el número total de edificaciones de la tipología estudiada, para cada una de las poblaciones. La Fig. 6.8 representa los porcentajes totales de edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar, divididos por períodos de construcción.

Tabla 6.10.

Número de edificaciones en cada uno de los períodos analizados

Núcleos urbanos	Número total de edificaciones por períodos				
	1968-1973	1973-1985	1985-1992	1992-1997	1997-2007
Peñíscola	19	21	38	10	34
Torreblanca	12	16	11	0	7
Oropesa del Mar	15	19	45	30	38
Benicàssim	51	83	46	5	26
Moncofa	5	33	24	16	162
El Puig	3	15	4	1	6
Puebla Farnals	27	26	4	1	7
Port Saplaya	0	5	29	1	14
El Saler	0	20	0	0	0
El Perellonet	21	11	4	2	5
Cullera	109	74	40	23	4
Tavernes de la Valldigna	42	45	35	9	40
Xeraco	5	16	39	45	18
Calpe	42	27	38	5	46
Playa de San Juan	59	46	27	12	18
TOTALES	410	457	384	160	425

Como se puede apreciar en la Fig. 6.8, existe un alto porcentaje de edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar con una antigüedad importante. Si se tienen en cuenta los porcentajes de edificios del período comprendido entre 1968 y 1973 y entre 1973 y 1985, existe un 47,2% del parque inmobiliario con una edad superior a 30 años. Basándose en la Tabla 6.11, adaptada de la Instrucción para el Hormigón Estructural EHE-08 (*B.O.E.*

203/2008), los edificios de viviendas deben proyectarse para tener una vida útil nominal de 50 años. Según la información obtenida, existe un porcentaje del 22,3% de edificios que estarían a punto de alcanzar el final de su vida útil nominal.

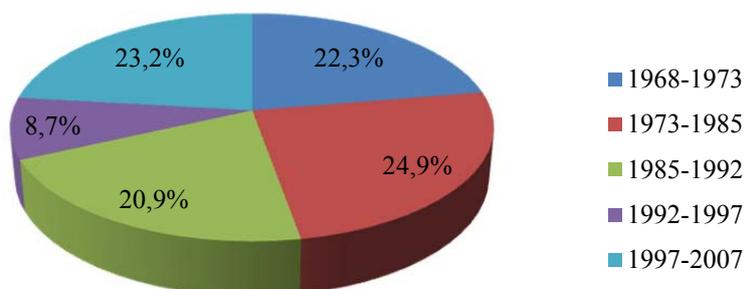


Fig. 6.8. Gráfico comparativo con porcentajes de edificaciones en los diferentes períodos estudiados

Tabla 6.11.

Vida útil nominal dependiendo del tipo de estructuras, adaptado de la EHE-08

Tipo de estructura	Vida útil nominal
Estructuras de carácter temporal	Entre 3 y 10 años
Elementos reemplazables que no forman parte de la estructura principal (por ejemplo, barandillas, apoyos de tuberías)	Entre 10 y 25 años
Edificios (o instalaciones) agrícolas o industriales y obras marítimas	Entre 15 y 50 años
Edificios de viviendas u oficinas y estructuras de ingeniería civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baja o media	50 años
Edificios de carácter monumental o de importancia especial	100 años
Puentes y otras estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta	100 años

La Fig. 6.9 representa los porcentajes de edificaciones de segunda residencia distribuidos por períodos y por núcleos urbanos. Se puede apreciar que poblaciones como Peñíscola, Benicàssim, Poble de Farnals, El Perellonet, Cullera, Calpe y Playa de San Juan disponen de un importante porcentaje de edificaciones cuya construcción corresponde al período comprendido entre 1968 y 1973, con edades próximas a la terminación de su vida útil. Así mismo, se observa la importancia que tuvo el boom inmobiliario producido a partir del año 1997 (período 1997-2007) en el aumento del número de edificaciones. Poblaciones como Peñíscola, Oropesa del Mar, El Puig, Port Saplaya, Tavernes de la Vallidigna, Calpe y, sobre todo, Moncofa, presentan un importante porcentaje de edificios cuya construcción se produjo en ese último período

En la Tabla 6.12 se define el factor que permite manifestar la influencia de la edad de los edificios, para cada población, sobre su vulnerabilidad al ambiente marino. Se efectúa para ello una ponderación a partir de los pesos reflejados en la tabla 6.4.

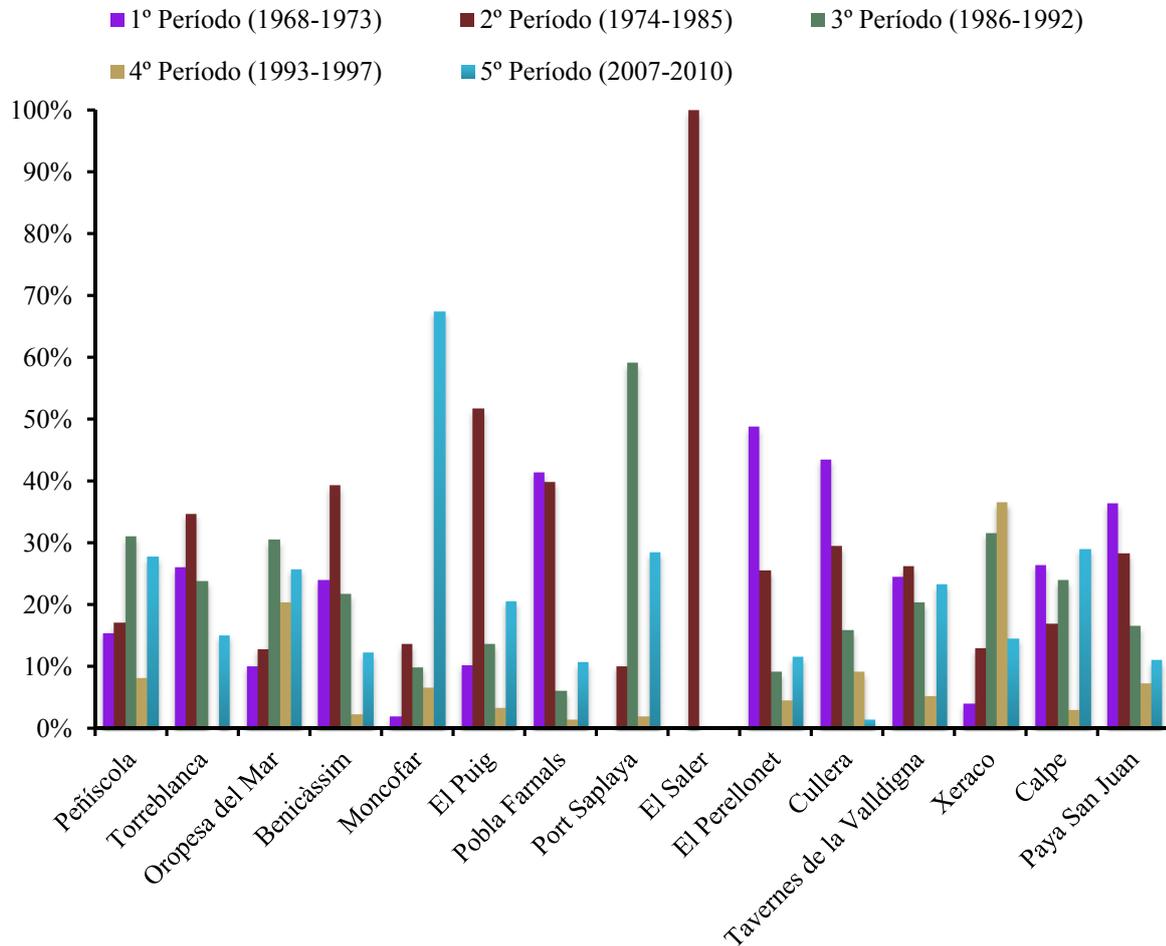


Fig. 6.9. Porcentajes de edificaciones de segunda residencia dentro de los diferentes períodos estudiados

Como se puede apreciar en la Tabla 6.12, poblaciones como El Puig, Pobla de Farnals, El Perellonet, Cullera y Playa de San Juan, disponen de un factor para la vulnerabilidad por antigüedad bastante elevado, con respecto a otros núcleos urbanos. Estas poblaciones tienen una tradición turística importante, tal y como se manifestó en el *Capítulo 2*. En cambio, Oropesa del Mar dispone de un factor de vulnerabilidad por antigüedad bajo, pese a que ha sido considerada como un destino turístico histórico. La justificación de este hecho reside en la masiva construcción de edificios en los booms inmobiliarios pertenecientes al tercer y quinto período.

Es interesante recalcar el hecho de que poblaciones tales como Torreblanca y Tavernes de la Vallidigna, a pesar de no disponer de un arraigo turístico significativo, tienen también un factor de vulnerabilidad por antigüedad alto. Esto es debido a que en estas poblaciones existe un turismo de tipo local, basado en turistas residentes en localidades próximas. En cuanto a El Saler, es de destacar que no se han construido más edificaciones a partir de la declaración de

la Dehesa del Saler como Parque Natural. Es por ello, que solamente posee edificaciones construidas en el período de 1974 a 1985.

Tabla 6.12.

Vulnerabilidad en función de la antigüedad de las edificaciones de segunda residencia

Núcleos urbanos	Pesos por período de construcción					Factor de vulnerabilidad por antigüedad
	1968-1973	1973-1985	1985-1992	1992-1997	1997-2007	
Peñíscola	3,1	2,6	3,1	0,4	0,6	9,8
Torreblanca	5,2	5,2	2,4	-	0,3	13,1
Oropesa del Mar	2,0	1,9	3,1	1,0	0,5	8,6
Benicàssim	4,8	5,9	2,2	0,1	0,2	13,3
Moncofa	0,4	2,1	1,0	0,3	1,4	5,2
El Puig	2,1	7,8	1,4	0,2	0,4	11,8
Pobla de Farnals	8,3	6,0	0,6	0,1	0,2	15,2
Port Saplaya	-	1,5	5,9	0,1	0,6	8,1
El Saler	-	15,0	-	-	-	15,0
El Perellonet	9,8	3,8	0,9	0,2	0,2	15,0
Cullera	8,7	4,4	1,6	0,5	0,0	15,3
Tavernes de la Valldigna	4,9	3,9	2,0	0,3	0,5	11,6
Xeraco	0,8	2,0	3,2	1,8	0,3	8,1
Calpe	5,3	2,6	2,4	0,2	0,6	11,0
Playa San Juan	7,3	4,3	1,7	0,4	0,2	13,8

Con respecto a Moncofa, Port Saplaya y Xeraco, el factor de vulnerabilidad es más bajo que las poblaciones referidas anteriormente. El turismo en estos núcleos urbanos es más reciente, con lo que la antigüedad de su parque inmobiliario es consecuentemente menor.

6.7. Factor de vulnerabilidad en función del crecimiento urbanístico

A partir de la aproximación al crecimiento urbanístico definido en el *Apartado 3.5 del Capítulo 3*, a continuación se procede a determinar el factor de vulnerabilidad de las poblaciones seleccionadas. Para ello, se han clasificado los edificios de segunda residencia de las diferentes poblaciones en las cinco clases de crecimiento urbanístico, a saber: ensanche en manzana cerrada, ensanche en manzana urbana, crecimiento lineal, adaptado a costa y macrourbanización. El trabajo realizado queda reflejado en la Tabla 6.13.

Como se desprende de la Tabla 6.13, existe un alto porcentaje de crecimiento urbanístico de tipo lineal en todas las poblaciones, salvo en Moncofa y Port Saplaya. En estos dos últimos casos, la diferencia es debida a la especial configuración urbanística de los municipios.

Moncofa se desarrolla como un núcleo urbano tradicional, con crecimiento en manzanas, mientras que Port Saplaya se construye a partir de un puerto deportivo que va configurando la morfología del asentamiento urbano.

Después del crecimiento tipo lineal, los crecimientos en manzana cerrada y manzana urbana son los más comunes en los núcleos urbanos estudiados. Con respecto a las macro-urbanizaciones, se asocian, sobre todo, a los grandes complejos residenciales y a los últimos períodos de construcción, con lo que aparecen en poblaciones que han soportado booms inmobiliarios asociados a los períodos 1985-1992 y 1997-2007, como Peñíscola, Oropesa del Mar, Benicassim y Xeraco.

Tabla 6.13.

Número de edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar en función del tipo de crecimiento urbanístico

Núcleos Urbanos	Manzana cerrada	Manzana urbana	Porcentajes		
			Lineal	Adaptado a costa	Macro urbanización
Peñíscola	20,5%	0,0%	77,0%	0,0%	2,5%
Torreblanca	65,2%	0,0%	32,6%	0,0%	2,2%
Oropesa del Mar	0,0%	28,1%	32,9%	31,7%	7,2%
Benicàssim	0,0%	0%	96,7%	0,0%	3,3%
Moncofa	58,3%	40,0%	0,0%	0,0%	1,7%
El Puig	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
Pobla de Farnals	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
Port Saplaya	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%
El Saler	0,0%	0,0%	100,0%	0,0%	0,0%
El Perellonet	2,3%	4,7%	93,0%	0,0%	0,0%
Cullera	36,8%	12,8%	26,0%	24,4%	0,0%
Tavernes de la Valldigna	0,0%	39,8%	57,9%	2,3%	0,0%
Xeraco	0,0%	0,0%	92,7%	0,0%	7,3%
Calpe	24,7%	7,6%	36,7%	31,0%	0,0%
Playa de San Juan	0,0%	0,0%	95,1%	0,0%	4,9%

Tomando como referencia la Tabla 6.13, se establece el grado de vulnerabilidad en función del crecimiento urbanístico. Para ello, se realiza la ponderación con los pesos reflejados en la Tabla 6.4. El resultado se plasma en la Tabla 6.14.

De la Tabla 6.14 se puede extraer que, localidades como Torreblanca, Oropesa del Mar, Moncofa, Cullera y Calpe, disponen de un factor de vulnerabilidad mayor que las otras poblaciones. Esto se explica por la clase de crecimiento en ensanche en manzana cerrada presente en estos núcleos urbanos, ya que como se ha visto en el *Capítulo 2*, la presencia de

manzanas densas y frentes importantes, aumentan el efecto pantalla efectuado por los edificios de primera línea. Además, localidades como Oropesa del Mar, Cullera y Calpe, disponen de un importante porcentaje de edificaciones asociadas al crecimiento adaptado. En contraposición, están las poblaciones de Playa de San Juan, Benicassim, Xeraco, El Puig y Poble de Farnals, donde predomina el crecimiento lineal.

Tabla 6.14.

Vulnerabilidad por crecimiento urbanístico de las poblaciones seleccionadas

Núcleos urbanos	Manzana cerrada	Manzana urbana	Pesos			Factor de crecimiento urbanístico
			Lineal	Adaptado a costa	Macro-urbanización	
Peñíscola	3,1	0,0	3,9	0,0	0,0	7,0
Torreblanca	9,8	0,0	1,6	0,0	0,0	11,4
Oropesa del Mar	0,0	2,8	1,6	6,3	0,1	10,9
Benicassim	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	4,9
Moncofa	8,8	4,0	0,0	0,0	0,0	12,8
El Puig	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	5,0
Poble de Farnals	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	5,0
Port Saplaya	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	10,0
El Saler	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	5,0
El Perellonet	0,3	0,5	4,7	0,0	0,0	5,5
Cullera	5,5	1,3	1,3	4,9	0,0	13,0
Tavernes de la Valldigna	0,0	4,0	2,9	0,5	0,0	7,3
Xeraco	0,0	0,0	4,6	0,0	0,1	4,7
Calpe	3,7	0,8	1,8	6,2	0,0	12,5
Playa de San Juan	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	4,8

6.8. Importancia de cada variable en la vulnerabilidad global y su influencia en el índice de daños.

Tal y como se ha especificado en el *Capítulo 5*, debe existir una relación directa entre los daños en las estructuras de los edificios de segunda residencia y la vulnerabilidad de las poblaciones.

Por ello, una vez efectuado el análisis individual de las variables estudiadas en este trabajo a través de los factores de vulnerabilidad, se hace necesario establecer la posible influencia que puedan tener estas variables en el estado actual del parque inmobiliario de segunda residencia en bloque plurifamiliar.

En el *Capítulo 5*, se ha calculado un índice de daños que representa el estado del parque

inmobiliario, a partir del porcentaje de edificios de segunda residencia que manifiestan lesiones estructurales y el nivel de daños de esas lesiones

Por lo que en este *Apartado* se plantea una posible valoración de la importancia a través de comparar el índice de daños con los factores de vulnerabilidad de las poblaciones a las variables. A continuación se explica el proceso seguido.

6.8.1. Criterio para la obtención de unos coeficientes de importancia de los factores de vulnerabilidad

Las variables analizadas en esta Tesis Doctoral no afectarán de igual manera al índice de daños de las poblaciones. Por lo que es necesario determinar la importancia de cada factor de vulnerabilidad de las variables.

Para realizar la comparación de los factores de vulnerabilidad con el índice de daños se plantea una primera valoración mediante un método matemático de tipo estadístico. Este método permitirá determinar la importancia de las variables

Cabe señalar que para poder emplear un método matemático estadístico que diera resultados coherentes, y tras unos primeros cálculos realizados, se decide eliminar la distancia a la costa y el crecimiento urbanístico de la valoración por las características especiales en la determinación de sus factores de vulnerabilidad. Estos parámetros son de difícil cuantificación: la salinidad atmosférica con la distancia a la costa sigue una función de tipo exponencial que se necesitaría determinar con más precisión y la influencia del crecimiento urbanístico se debería estudiar para cada clase de crecimiento y composición del paquete de edificaciones analizado en cada núcleo urbano. No obstante, tal y como ha quedado patente en el *Capítulo 2*, estas variables sí que influyen en los daños estructurales en la atmósfera marina. Por ello, estas variables necesitarían de un estudio posterior más exhaustivo a fin de conseguir una cuantificación de su factor de vulnerabilidad que tenga en cuenta sus características especiales.

El método matemático seguido en este *Apartado* ha consistido en ajustar el índice de daños observado de cada población como la suma de los factores de vulnerabilidad de cada variable, afectados de un coeficiente de importancia. De esta forma, se obtiene la Ec. (6.1):

$$I_{daños} = \alpha F_{vd} + \beta F_p + \delta F_s + \varepsilon F_a \quad (6.1)$$

Donde $I_{daños}$ representa al índice de daños para cada población, F_{vd} el factor para el viento dominante, F_p el factor para las precipitaciones, F_s es el factor de situación con respecto a la línea de costa de las edificaciones de segunda residencia y F_a el factor de antigüedad del

parque inmobiliario. α , β , δ y ε , los coeficientes de importancia de las variables. Se tendrán 15 ecuaciones, una por cada población.

Una vez establecida la Ec. (6.1), que permite vincular las diferentes variables entre sí, a continuación se procede a determinar unos coeficientes de importancia que permitan la clasificación de las variables. La determinación de los coeficientes de importancia se realizará mediante el ajuste por regresión multivariable de las ecuaciones. Para ello, se emplea como herramienta de cálculo el método matemático de ajuste por mínimos cuadrados.

Este método consiste en lo siguiente: a partir de las 15 ecuaciones de cuatro variables independientes (los factores de vulnerabilidad) y una dependiente (el índice de daños) se obtienen los coeficientes (α , β , δ y ε) que hacen que el error cuadrático medio (*MSE-Mean Squared Error*) o media de las diferencias al cuadrado entre los valores reales del índice de daños y las predicciones de la ecuación ajustada, sea mínimo.

La regresión multivariable se ha efectuado mediante un programa de cálculo computacional, en este caso el Wolfram Mathematica (*Wolfram Research 2015*).

Definido el método usado para el cálculo de los coeficientes de importancia, a continuación se presentan los resultados. La Tabla 6.15 recoge los coeficientes derivados de la aplicación del método de los mínimos cuadrados a la Ec. (6.1), obtenida suprimiendo las variables anteriormente reseñadas:

Tabla 6.15.

Coefficientes de importancia de los factores de vulnerabilidad en el índice de daños

	α	β	δ	ε
Coefficientes de importancia	0,600	0,135	0,004	1,191

Así mismo, en la Tabla 6.16 se plasman el peso de los coeficientes de importancia en el índice de daños:

Tabla 6.16.

Peso de los coeficientes de importancia en el índice de daños

	α	β	δ	ε
Coefficientes de importancia	31,1%	7,0%	0,2%	61,7%

6.8.2. Análisis de los resultados del ajuste realizado

Del análisis de los resultados para el ajuste por mínimos cuadrados realizado en el *Apartado 6.8.1*, se pueden extraer varias conclusiones:

- Atendiendo a un estudio de las variables de vulnerabilidad de las diferentes poblaciones, se podría determinar el estado del parque inmobiliario de segunda residencia en bloque plurifamiliar de las poblaciones.
- Es necesario señalar que el índice de daños calculado en el *Capítulo 5* depende de más variables que las estudiadas en este trabajo. No obstante, la resolución de la Ec. (6.1) ha proporcionado un orden de magnitud que ha permitido comparar las variables analizadas entre sí.
- Con respecto al punto anterior, el coeficiente calculado para el factor de vulnerabilidad por antigüedad de las edificaciones revela la importancia de esta variable en las lesiones de las edificaciones. Tal y como se había especificado en el *Capítulo 5*, existe una correlación entre la edad de las edificaciones dentro de las poblaciones, con el porcentaje de daños estructurales presentes en esas edificaciones. Este coeficiente lo corrobora.
- El segundo coeficiente de importancia calculado con mayor valor es el factor de vulnerabilidad por viento. Aunque no llega a ser tan determinante como la antigüedad del parque inmobiliario, se aprecia que el valor es elevado con respecto a los otros factores analizados. Este valor revela la importancia del régimen de vientos, sobre todo su dirección predominante proveniente del mar y su velocidad, en la exposición al ambiente marino de las edificaciones dentro de las poblaciones. Este dato viene a corroborar lo especificado por *Morcillo et al. (2007)*.
- El coeficiente del factor de vulnerabilidad por el régimen de precipitaciones es el tercer valor en importancia. Cabe señalar que este nivel de precipitaciones influye significativamente en los ciclos de humectación-secado que pueden presentar las edificaciones dentro de cada población. Por ello, este valor permite corroborar la importancia de los ciclos de humectación-secado en las lesiones estructurales.
- Las variables de distancia a la costa de las edificaciones de segunda residencia y la clase de crecimiento urbanístico no se han tenido en cuenta en la determinación de la importancia en el índice de daños, debido a su difícil cuantificación. Estas variables necesitarán de un estudio posterior. En el *Capítulo 8*, se propone una futura línea de investigación que aborde este estudio.
- Esta primera valoración de los factores de vulnerabilidad y su relación con el índice de daños de las poblaciones servirá de base para una futura investigación que determine con mayor precisión la vulnerabilidad de las poblaciones, contemplando todas las posibles variables que pueden influir en los daños estructurales de las edificaciones en atmósfera marina.

6.9. Conclusiones relativas al *Capítulo 6*

A lo largo de la presente Tesis Doctoral se ha determinado la idoneidad, necesidad y conveniencia de estudiar la vulnerabilidad de las poblaciones al ambiente marino para poder delimitar el estado del parque inmobiliario de segunda residencia en bloque plurifamiliar presente en estos núcleos urbanos. Es por ello que se ha realizado un primer estudio de la vulnerabilidad de las poblaciones frente a diferentes variables que condicionan la exposición al ambiente agresivo marino, como son: el régimen de vientos, régimen de precipitaciones, la situación del parque inmobiliario de segunda residencia con respecto a la línea de costa y la ubicación del mismo. Además, se ha analizado la antigüedad de este parque inmobiliario y la clase de crecimiento urbanístico soportado por las poblaciones. El estudio se ha realizado a través de calcular unos factores de vulnerabilidad que han permitido cuantificar la influencia de las variables.

En este *Capítulo* se ha desarrollado un primer análisis de la importancia de cada variable analizada. Los factores de vulnerabilidad se relacionan con el estado del parque inmobiliario de segunda residencia a través de igualarlos con el índice de daños de cada población. Esto ha permitido obtener unos coeficientes de importancia que ha permitido clasificar las variables atendiendo a su importancia en el índice de daños.

En base al trabajo realizado, se presentan las siguientes conclusiones:

- Con respecto a la exposición a los agentes ambientales, los núcleos urbanos de Torreblanca, Oropesa del Mar, Tavernes de la Valldigna y Xeraco, disponen de un factor de vulnerabilidad mayor que en otras poblaciones. No obstante, también se observa que en núcleos urbanos como Peñíscola, Port Saplaya y el Saler el factor de vulnerabilidad puede ser considerado importante. En contraposición, en la Playa de San Juan la vulnerabilidad con respecto a los agentes externos se puede estimar baja en comparación con los demás núcleos urbanos estudiados.
- Existen poblaciones donde la situación de los edificios con respecto a la línea de costa las hace vulnerables. Tal es el caso de Torreblanca, Port Saplaya y el Perellonet, que presentan un nivel de exposición elevado, en comparación con las otras poblaciones analizadas. Si se considera las variables de situación y ubicación en conjunto, se puede concluir que las localidades de Peñíscola y Calpe presentan una vulnerabilidad elevada con respecto a los otros núcleos urbanos seleccionados.
- Se ha apreciado que el parque inmobiliario del total de las poblaciones seleccionadas, dispone de un porcentaje del 47,2% de edificios con más de 30 años de edad. Así mismo, existe un porcentaje del 22,3% de edificios a punto de alcanzar el final de su vida útil nominal. Por poblaciones, Poble de Farnals, el Saler, el Perellonet, Cullera y

- Playa de San Juan disponen del factor de vulnerabilidad frente a la antigüedad más elevado.
- En cuanto a la vulnerabilidad por clase de crecimiento urbanístico, se ha podido determinar que Torreblanca, Oropesa del Mar, Moncofa, Cullera y Calpe disponen de un valor del factor de vulnerabilidad mayor. Esto es debido a la clase crecimiento en ensanche en manzana cerrada presente en estos núcleos urbanos. Además, Oropesa del Mar, Cullera y Calpe, disponen de un importante porcentaje de edificaciones asociadas al crecimiento adaptado.
 - La antigüedad es la variable analizada que más influye en el índice de daños de las poblaciones. A partir de esta afirmación se puede corroborar que la edad del parque inmobiliario de las poblaciones determina en gran medida el porcentaje de edificaciones que presentan daños estructurales en estos núcleos urbanos, como era lógico esperar.
 - También el régimen de vientos, sobre todo el viento dominante proveniente del mar y su velocidad, influyen significativamente en el nivel de exposición al ambiente marino de las edificaciones presentes en las poblaciones. Por ende, este régimen de vientos es un factor importante en el porcentaje de edificaciones afectadas de lesiones estructurales.
 - Así mismo, el régimen de precipitaciones es la tercera variable que más influye en el índice de daños de las poblaciones. Esta variable afecta al ciclo de humectación-secado de los edificios presentes en los núcleos urbanos.
 - Se ha demostrado que el estudio del grado de vulnerabilidad de las poblaciones puede ser una herramienta fácil de usar y que además permitiría determinar el estado del parque inmobiliario para cada población. Para un posterior trabajo, a partir del análisis realizado en esta Tesis Doctoral, sería interesante seguir avanzando en los aspectos cuantitativos de los factores de vulnerabilidad y su relación con el índice de daños, de manera que se permita la evaluación y el diseño de medidas preventivas durante el proceso edificatorio.

CAPITULO 7. ESTUDIO DE UN CASO PARTICULAR EN EL LITORAL VALENCIANO

7.1. Introducción

En el *Capítulo 6* se ha realizado un estudio pormenorizado de varias poblaciones de la costa valenciana que, por sus características de exposición y crecimiento, engloban la práctica totalidad de la casuística de los núcleos urbanos del litoral valenciano.

Así mismo, tal y como se ha comentado en el *Capítulo 1*, en muchas de las intervenciones de tipo estructural, realizadas en edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar, no se han tenido en cuenta las características especiales de los edificios en cuanto al grado de exposición al ambiente marino y su forma de construcción. En muchas de estas actuaciones no se ha contado con las causas que han producido el daño estructural para realizar la reparación, sobre todo en relación a la corrosión de las armaduras.

Por tanto, surge la necesidad de realizar un análisis pormenorizado de la vulnerabilidad en una población concreta y un estudio de un edificio situado en esa misma población, con corrosión en las armaduras, para así ver cómo ha contribuido el grado de exposición, la presencia de iones despasivantes y el estado del hormigón a las lesiones que presenta el edificio.

En este *Capítulo 7* se pretende realizar, en primer lugar, un análisis de una de las poblaciones seleccionadas en el *Capítulo 6*, en concreto la localidad de Cullera. Este análisis consiste en un estudio detallado de las variables definidas en el *Capítulo 3* adaptadas a esta población. Posteriormente, se examinará un edificio en particular, afectado de corrosión severa, ubicado en esta localidad. Este examen se efectúa a través de la investigación de un estudio experimental que engloba:

- Un análisis de las manifestaciones patológicas presentes en la estructura del inmueble.
- Un examen de las características del hormigón armado.
- El nivel de los agentes agresivos que han causado esas lesiones, tanto en la armadura, como en el hormigón.

La edificación objeto de este trabajo se escogió a fin de que dispusiera de una vulnerabilidad elevada, estuviera expuesta durante un largo período al ambiente marino y que poseyera un

grado de corrosión alto, exactamente un nivel 4, según las categorías reflejadas en la Tabla 5.2 del *Capítulo 5*. Además, era necesario que se permitiera, por parte de la propiedad, realizar los ensayos y análisis pertinentes.

7.2. Vulnerabilidad de la población de Cullera

A continuación se procede a realizar el análisis de la población de Cullera, a partir de su grado de vulnerabilidad. Para ello, primero se efectúa una descripción del crecimiento soportado por Cullera, durante el período analizado en esta Tesis Doctoral. Posteriormente se calcula un factor de vulnerabilidad para cada una de las variables descritas en el *Capítulo 3*, como son: los agentes atmosféricos, la situación del parque inmobiliario de segunda residencia, la antigüedad de los edificios y la clase de crecimiento urbanístico.

7.2.1. Breve descripción de la población de Cullera, de su crecimiento urbanístico y de su orografía.

Cullera es una población ubicada en la provincia de Valencia, dentro de la Comunidad Valenciana. Está situada a 38 km al sur de la ciudad de Valencia, a orillas del Mar Mediterráneo (*Pérez Cueva 1994*). Las coordenadas de localización de la población de Cullera son: 39°10'51.6"N 0°13'09.1"W. Dispone de una longitud de costa aproximada entre 4,5 y 5 kilómetros.

Es un municipio eminentemente turístico, con una población que se multiplica por ocho en los períodos estivales. Según los datos del Instituto Valenciano de Estadística (*Portal estadístico de la Generalitat Valenciana 2015*), existen en Cullera un total de 28.896 viviendas, de las cuales 16.809 son viviendas de segunda residencia. Estas viviendas de segunda residencia están repartidas en viviendas unifamiliares y bloques plurifamiliares. El total de inmuebles de segunda residencia en bloque plurifamiliar ubicados en Cullera es de 250 edificios.

El término de Cullera está constituido mayoritariamente por una extensa planicie, cuya principal prominencia es la conocida como “Muntanya de les Rabosses o Montaña de Cullera”, con una cota de 225 m sobre el nivel del mar (*Pérez Cueva 1994*). Al sur de la ciudad se encuentra la desembocadura del río Júcar, que ha efectuado de frontera natural para el crecimiento de la población hacia el sur. Esta topografía ha marcado el desarrollo urbanístico de Cullera. La ciudad antigua se desarrolló al amparo de la montaña, ubicándose entre ésta y el río Júcar. Este río dispone de una desembocadura amplia que permite la creación de un puerto fluvial natural. Por ello, la concepción del núcleo poblacional histórico es diferente a otras poblaciones de la costa valenciana que también vivían de la pesca, ya que en su desarrollo no prevalece la presencia del mar.

A continuación se describe el crecimiento urbanístico soportado por la localidad de Cullera, en base a los períodos analizados en el *Capítulo 3*:

- En la década de los 60 y principios de los 70, correspondiente al primer período estudiado, Cullera soportó un crecimiento urbanístico importante debido al auge del turismo residencial. Este crecimiento urbano se desarrolló desde el núcleo antiguo hacia el mar. El modelo territorial del Plan General de Cullera (P.G.), aprobado definitivamente en 1965 venía condicionado por una permisividad que “permitía edificar en cualquier punto y con los mínimos requisitos en materia urbanística” (B.O.P. 181/95). Todo el litoral de la costa de Cullera era potencialmente edificable, con densidades muy elevadas y edificios altos, sobre todo entre el cabo de Cullera y el río Júcar. En esta época se desarrolló la parte de ensanche de Cullera hacia el mar (Fig. 7.1). También se produjo un desarrollo urbanístico en la zona norte de la montaña de Cullera, en este caso en la zona donde se ubica el faro de Cullera.



Fig. 7.1. Vista del desarrollo soportado por la población de Cullera en el primer período estudiado. Fuente: www.todocoleccion.net

- En el segundo período (1973-1985) la población de Cullera soportó en los primeros años un descenso de edificaciones construidas de segunda residencia, tal y como pasó en el resto de poblaciones de la costa valenciana. No obstante, en el último tercio de este período, se produjo un auge en la construcción de edificios de esta tipología. Entre los años 80 y 85 se originó un crecimiento urbanístico importante. Este crecimiento se ubica en la zona conocida como El Racò. En este caso, al no revisarse el P.G., se seguía manteniendo las premisas descritas para el punto anterior, esto es, densidades elevadas y edificación en altura.
- El tercer período (1985-1992) se caracteriza por la continuación del crecimiento

urbanístico reflejado en el punto anterior. En la Fig. 7.2 se puede observar la zona de expansión en el segundo y tercer período.

- En el cuarto período (1992-1997), a partir de la crisis generada en todo el territorio nacional y por la aparición del nuevo Plan General de Ordenación Urbana de Cullera (P.G.O.U.) (B.O.P. 181/95), se produjo un descenso en la construcción de edificaciones de segunda residencia. Además, el P.G.O.U., delimitó las nuevas edificaciones de segunda residencia a las zonas urbanas ya consolidadas y a la margen derecha del río Júcar.
- El último período analizado (1997-2007) se caracteriza por el predominio de construcciones de tipología unifamiliar con respecto a bloques plurifamiliares de segunda residencia. En este período, la edificación en bloque plurifamiliar se ha concentrado principalmente en la margen derecha del río Júcar.

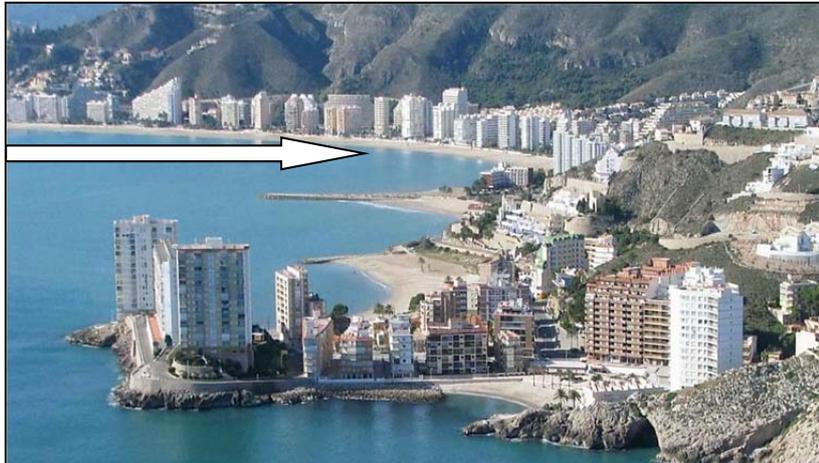


Fig. 7.2. Vista con la ubicación de *El Racò*. Fuente: web ayuntamiento de Cullera

En la Fig. 7.3 se observa un esquema de la ubicación del casco antiguo y el crecimiento urbanístico seguido por los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar en la localidad de Cullera.

Por otro lado, la “Montaña de Cullera” condiciona la orografía de esta población. Esta elevación de terreno llega hasta la línea de costa, dividiendo la población de Cullera en dos zonas (Fig. 7.4):

- La zona conocida como El Faro, donde se sitúa el cabo de Cullera y el faro. Dispone de una orografía tipo serranía, atendiendo a la Tabla 3.2. del Capítulo 3.
- La zona de la bahía de Cullera (en adelante Bahía). Dispone de una orografía tipo lineal de playa, atendiendo a la misma Tabla 3.2.

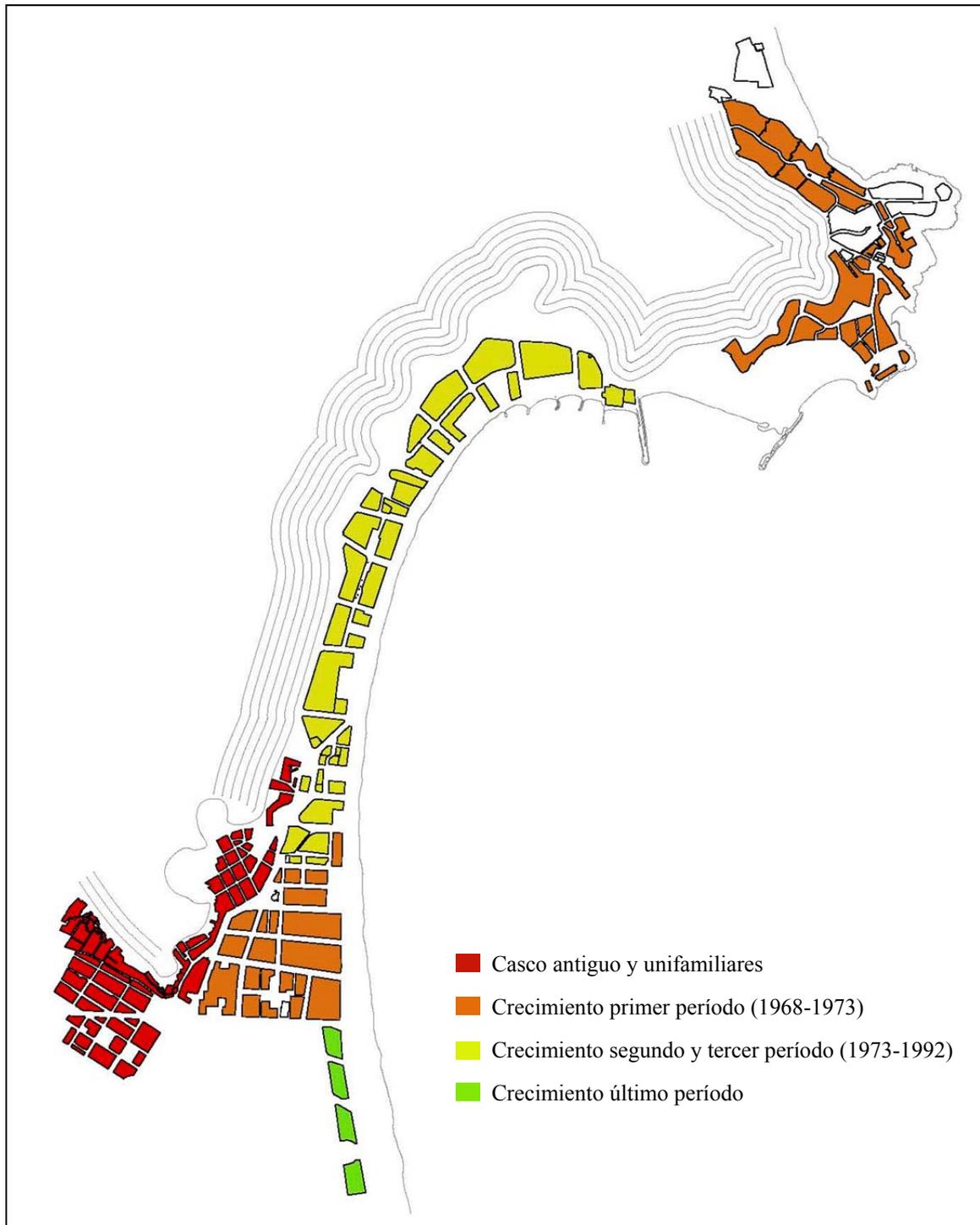


Fig. 7.3. Determinación del casco antiguo y crecimiento urbanístico de las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar en la localidad de Cullera



Fig. 7.4. Orografía de Cullera. Fuente: www.googlemaps.com

7.2.2. Determinación del factor de vulnerabilidad frente a los agentes atmosféricos

Para poder determinar el factor de vulnerabilidad frente a los agentes atmosféricos, se han extraído los datos de la estación meteorológica ubicada en Cullera (AEMET 2015).

La Fig. 7.5 representa la rosa de los vientos para el municipio de Cullera. En ella se aprecia que el viento dominante tiene una componente Este-Noreste (ENE), tal y como se había descrito en el *Capítulo 3*. La velocidad media del viento dominante que proviene del mar, como se ha especificado en la Tabla 6.5 (*Capítulo 6*), es de 7 km/h. La media de las velocidades máximas del viento dominante es de 9 km/h.

La forma de la costa en la población de Cullera, predominantemente lineal con un eje norte-sur, nos permite corroborar que esta dirección del viento dominante proviene del mar, con lo que en el caso de Cullera, el viento principal coincide con el viento dominante proveniente del mar. Así mismo, la situación de la localidad, ubicada en su mayoría en la parte este de la “Montaña de Cullera”, justifica que los vientos de componente Sur sean prácticamente inexistentes.

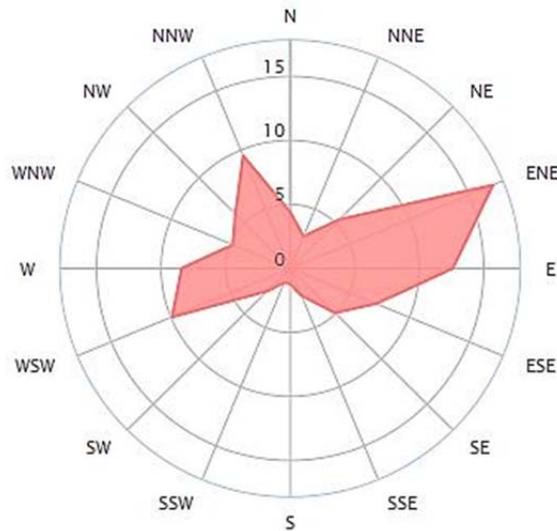


Fig. 7.5. Rosa de los vientos del municipio de Cullera extraído de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2015).

En la Fig.7.6 se puede apreciar el rango anual medio de precipitaciones en la población de Cullera en el período 1981-2015. Como se observa, el mes con mayor precipitación media es septiembre con $110,6 \text{ l/m}^2$. La justificación, tal y como se vio en el *Capítulo 3*, reside en las tormentas mediterráneas que se dan en esa época del año en toda la Comunidad Valenciana y que se conoce como “Gota Fría” (Pérez Cueva 1994). En contraposición, se encuentra el mes de julio con un valor de precipitaciones de $10,5 \text{ l/m}^2$. Como queda reflejado, existe una gran variación del valor de las precipitaciones entre los meses de julio y de septiembre.

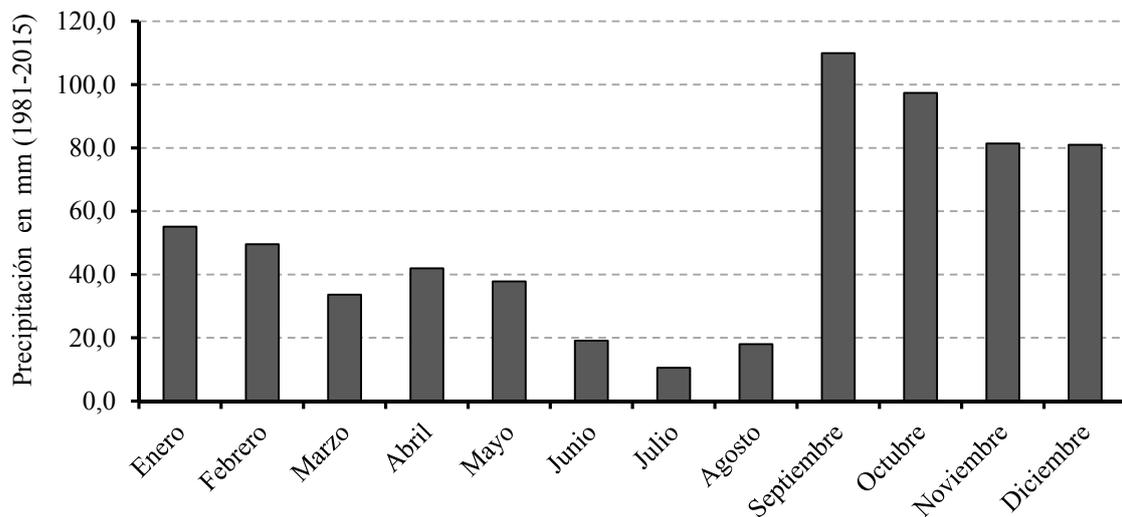


Fig. 7.6. Rango anual medio de precipitaciones en el período comprendido entre 1981 y 2015 en la población de Cullera extraído de los datos históricos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET 2015).

Por ello, la diferencia de precipitaciones entre el mes de septiembre y el mes de julio para la localidad de Cullera es de $100,10 \text{ l/m}^2$.

Tal y como se ha especificado en el *Apartado 6.4.1* y *Apartado 6.4.2* para calcular el factor de vulnerabilidad a los agentes atmosféricos de la población de Cullera, se extrapolan los datos reflejados en las Fig. 7.5 y Fig. 7.6 a los valores ponderados. El resultado se plasma en la Tabla 7.1, donde se representa la vulnerabilidad con respecto a la exposición a los agentes agresivos de la población de Cullera:

Tabla 7.1

Vulnerabilidad de Cullera respecto a la exposición a los agentes atmosféricos

Localidad	V. media viento km/h	Diferencia de precipitaciones, mm	Factor de vulnerabilidad por régimen de vientos	Factor de vulnerabilidad por diferencia de precipitaciones
Cullera	7	100,1	7,5	18,7

Cabe señalar que los datos de precipitación y de viento son constantes no existiendo prácticamente variación con respecto a las zonas de la población de Cullera.

7.2.3. Determinación del factor de vulnerabilidad por situación de las edificaciones de segunda residencia a la costa

Tal y como se ha visto en el *Apartado 7.2.1*, en cuanto a orografía se refiere, existen dos zonas en la población de Cullera, la zona de El Faro, y la zona de la Bahía.

En la Tabla 7.2 se muestra la distribución de edificaciones de segunda residencia respecto a la distancia a la línea de costa, diferenciando las 2 zonas descritas anteriormente. Se ha seguido manteniendo las 3 franjas vistas en el *Capítulo 3*.

Tabla 7.2

Distribución de los edificios de segunda residencia en Cullera con respecto a la costa

Zona	Situadas a menos de 50 metros	Situadas entre 50 y 100 metros	Situadas a más de 100 metros
El Faro	18	7	35
Bahía	6	47	137
Total Cullera	24	54	172

Con los datos de la Tabla 7.2, a continuación se calcula el factor de vulnerabilidad de la población de Cullera con respecto de la distancia al mar de los edificios de segunda residencia. Los datos se exponen en la Tabla 7.3, en donde se aprecian, por un lado, los porcentajes de edificios distribuidos por franjas de distancia con respecto a la costa; y por otro lado se muestra el factor de vulnerabilidad para cada franja y el global para la localidad. El factor se obtiene de multiplicar los porcentajes anteriores por el coeficiente especificado en la Tabla 6.4 del *Capítulo 6*. Esta Tabla 7.3 permite apreciar que la zona de El Faro tiene un

mayor factor de vulnerabilidad, como era lógico esperar, atendiendo a lo especificado en este apartado.

Tabla 7.3

Distribución de los edificios de segunda residencia y factor de vulnerabilidad con respecto a la distancia a la costa

Zona	Situadas a menos de 50 metros	Situadas entre 50 y 100 metros	Situadas a más de 100 metros	Factor de vulnerabilidad con respecto a la situación
El Faro	30 %	11,7 %	28,3 %	--
Bahía	3,1 %	24,7 %	72,2 %	--
Porcentaje global Cullera	9,6 %	21,6 %	68,8 %	--
Factor de vulnerabilidad de El Faro	6,0	1,2	1,4	8,6
Factor de vulnerabilidad de la Bahía	0,6	2,5	3,6	6,7
Factor de vulnerabilidad de Cullera	1,9	2,2	3,4	7,5

Para concluir con la valoración de la localidad de Cullera en lo que se refiere a la situación de su parque inmobiliario con respecto a la línea de costa, hay que considerar la ubicación de los edificios según se sitúen en primera o en segunda línea de playa. En la Tabla 7.4 se plasma, la ubicación de estas edificaciones distribuidas por zonas y para la población en conjunto:

Tabla 7.4

Situación con respecto a la costa del total del parque inmobiliario de segunda residencia en Cullera

Zona	Edificaciones ubicadas en primera línea de playa	Edificaciones ubicadas en segunda línea de playa
El Faro	29	26
Bahía	51	144
Total Cullera	80	170

Tal y como se aprecia en la Tabla 7.4, es de destacar en la zona de El Faro el porcentaje de edificaciones en primera línea de playa, que es superior al 50 %.

A través de los datos extraídos de la Tabla 7.4, a continuación se calcula el factor de vulnerabilidad de la población de Cullera para la ubicación de los edificios de segunda residencia con respecto a la costa. Los datos se exponen en la Tabla 7.5. Como en la Tabla

7.3, el dato se ha extraído de multiplicar los porcentajes de las edificaciones de segunda residencia para cada ubicación, por los coeficientes reflejados en la Tabla 6.4 del *Capítulo 6*.

Tabla 7.5

Vulnerabilidad por ubicación de los edificios de segunda residencia en Cullera, por zona y global

	Edificaciones ubicadas en primera línea de playa	Edificaciones ubicadas en segunda línea de playa	Factor de vulnerabilidad a partir de la ubicación con respecto a la línea de costa
El Faro	52,7 %	47,3 %	--
Bahía de Cullera	26,1 %	73,9 %	--
Porcentajes totales	32,0 %	68,0 %	--
Factor de vulnerabilidad de El Faro	10,5	2,4	12,90
Factor de vulnerabilidad de la Bahía	5,2	3,7	8,9
Factor de vulnerabilidad de Cullera	6,4	3,4	9,8

En esta Tabla 7.5 se puede apreciar cómo la zona de El Faro dispone de un factor sensiblemente mayor que el reflejado para la zona de la Bahía, corroborando lo anteriormente descrito.

7.2.4. Determinación del factor de vulnerabilidad por antigüedad del parque inmobiliario de segunda residencia en bloque plurifamiliar

La Tabla 7.6 corresponde a la distribución de las edificaciones de segunda residencia con respecto al año de su construcción. Tal y como se ha desarrollado en los anteriores apartados, se realiza para las dos zonas en las que se ha dividido a la población de Cullera.

Tabla 7.6

Distribución de las edificaciones de segunda residencia por períodos de construcción en Cullera

Zona	Primer período (1968-1973)	Segundo período (1973-1985)	Tercer período (1985-1992)	Cuarto período (1992-1197)	Quinto período (1997-2007)
El Faro	30	12	9	9	3
Bahía	79	62	31	14	1
Total Cullera	109	74	40	23	4

En la Tabla 7.7 se disponen los porcentajes de edificios dependiendo del año de construcción y los factores de vulnerabilidad por antigüedad para las zonas de El Faro y la Bahía. También se calcula el índice total para la población de Cullera.

Se puede apreciar en la Tabla 7.7 que los factores de vulnerabilidad por antigüedad son similares, tanto para El Faro y la Bahía como el total para Cullera. Si se compara el valor para la localidad de Cullera con el resto de poblaciones analizadas en el *Capítulo 6*, se puede observar que Cullera tiene el mayor factor de vulnerabilidad para esta variable: un 15,25. Este dato permite adelantar que la antigüedad de las edificaciones será un factor fundamental en el grado de vulnerabilidad de la población de Cullera.

Tabla 7.7

Porcentaje de edificaciones distribuidas por períodos de construcción y vulnerabilidad por antigüedad

Zona	Primer período (1968-1973)	Segundo período (1973-1985)	Tercer período (1985-1992)	Cuarto período (1992-1197)	Quinto período (1997-2007)	Factor de vulnerabilidad antigüedad
El Faro	47,6 %	19,0%	14,3%	14,3%	4,8%	--
Bahía	42,2%	33,1%	16,6%	7,5%	0,6%	--
Total Cullera	43,6%	29,6%	16,00%	9,2%	0,2%	--
Factor de vulnerabilidad El Faro	9,5	2,8	1,4	0,7	0,1	14,5
Factor de vulnerabilidad de la Bahía	8,4	5,0	1,7	0,4	0,0	15,5
Factor de vulnerabilidad Cullera	8,7	4,4	1,6	0,5	0,0	15,3

7.2.5. Determinación del factor de vulnerabilidad por crecimiento urbanístico

A efectos del crecimiento urbanístico de Cullera, es necesario tener en cuenta lo visto en el *Apartado 7.2.1* sobre el crecimiento y la orografía de Cullera. Por ello, cabe realizar esta división:

- En la zona de El Faro existe una orografía tipo serranía. En este caso, la zona pertenecería a la clase de crecimiento urbanístico adaptado, tal y como se ha visto en el *Apartado 3.5.4*. En esta zona no existe otro tipo de crecimiento urbanístico.
- La zona de la Bahía se divide, a su vez, en dos subzonas: la zona de ensanche de la

población y la zona de tipología edificatoria de bloques plurifamiliares aislados. Con respecto a la clase de crecimiento, la subzona de ensanche dispondría de dos clases: el crecimiento de ensanche en manzana cerrada y el crecimiento en manzana abierta. En la Fig. 7.7 se aprecia la subzona de ensanche de Cullera con los dos tipos de crecimiento. Con respecto a la subzona de bloques plurifamiliares aislados correspondería a un crecimiento lineal. En esta zona no existe ni crecimiento adaptado ni macro-urbanizaciones.

Atendiendo a la clara diferenciación entre clases de crecimiento urbanístico en las zonas de El Faro y de la Bahía, no es preceptiva la realización de la división de zonas, tal y como se ha efectuado en los apartados anteriores.

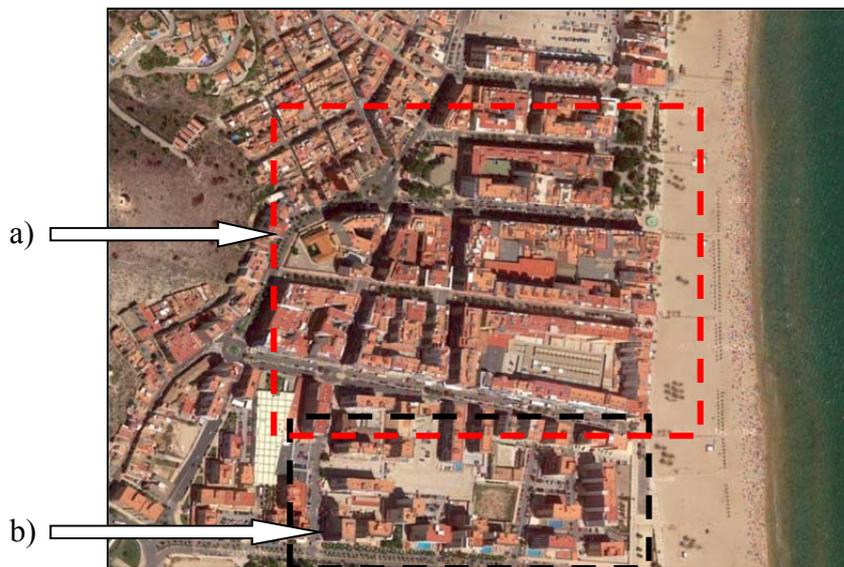


Fig. 7.7. Subzonas del ensanche de Cullera, a) zona de manzana cerrada y b) zona de manzana abierta

A continuación se plasma en la Tabla 7.8 la distribución de las edificaciones de segunda residencia por clases de crecimiento urbanístico, aplicada a toda la población de Cullera.

Tabla 7.8

Distribución de las edificaciones por clase de crecimiento urbanístico

	Ensanche manzana cerrada	Ensanche manzana abierta	Lineal	Adaptado a costa	Macro urbanización
Total Cullera	92	32	65	61	0

En la Tabla 7.9 se representan los porcentajes de edificaciones con respecto al total para cada clase de crecimiento urbanístico y el factor de vulnerabilidad para la clase de crecimiento

urbanístico de la localidad de Cullera, ponderados por los coeficientes de la Tabla 6.4 del *Capítulo 6*:

Tabla 7.9

Porcentaje de edificaciones y vulnerabilidad por clase de crecimiento urbanístico

	Ensanche manzana cerrada	Ensanche manzana abierta	Lineal	Adaptado a costa	Macro urbanización	Factor de vulnerabilidad por clase de crecimiento
Porcentajes	37,0 %	13,0 %	26,0 %	24,0 %	0	
Factores para Cullera	5,5	1,3	1,3	4,9	0	13,0

7.2.6. Análisis de los resultados de los factores de vulnerabilidad de la localidad de Cullera

A continuación se va a realizar una comparativa de los factores de vulnerabilidad a las variables especificados en los apartados anteriores, con lo expuesto en el *Capítulo 6*. Con ello, se pretende corroborar el grado de vulnerabilidad de la población de Cullera.

Tal y como se ha visto en el *Capítulo 6*, las variables estudiadas en este trabajo más influyentes en el índice de daños de las poblaciones son la antigüedad del parque inmobiliario y la exposición a los agentes atmosféricos: el régimen de vientos y la temperatura.

Se puede apreciar en el *Apartado 7.2.4* que Cullera dispone de una antigüedad importante, siendo la población con mayor factor de antigüedad de las analizadas. Como se ha descrito en el *Apartado 7.2.1*, gran parte de la edificación de segunda residencia en bloque plurifamiliar de Cullera fue construida a partir del boom turístico de los años 60. De los 250 edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar, 109 fueron construidos en el primer período. El porcentaje resultante es un 43,6% del total del parque inmobiliario. Atendiendo a lo especificado en el *Apartado 6.6*, casi la mitad de las edificaciones de segunda residencia en la población de Cullera están a punto de alcanzar el final de su vida útil nominal. Si, además, se tiene en cuenta el porcentaje construido en el segundo período, en este caso el 29,6%, el 73,2% del total del parque inmobiliario de la población de Cullera tiene una antigüedad mayor de 30 años.

Así mismo, el estudio del régimen de precipitaciones ha revelado que dispone de un factor de vulnerabilidad por precipitaciones elevado, si se compara este valor con los obtenidos para las diferentes poblaciones analizadas en este trabajo. Tal y como se ha visto en el *Apartado 7.2.2*, existe una gran variación del valor de las precipitaciones entre los meses de julio y de septiembre.

En contraposición, el factor de vulnerabilidad al régimen de vientos no presenta un valor excesivamente alto en comparación con las otras poblaciones analizadas. Como se ha apreciado en el *Apartado 7.2.2.*, la velocidad del viento no es muy importante. Ello es debido a que la “Montaña de Cullera” produce un efecto pantalla de protección.

Con respecto a las variables de situación de los edificios de segunda residencia en relación a la costa los factores de vulnerabilidad por distancia a la costa y situación con respecto a la línea de playa, la localidad de Cullera mantiene un grado importante de exposición a estas variables. En la variable de distancia a la costa de las edificaciones, Cullera presenta un factor de vulnerabilidad elevado. Por zonas, está la zona de la Bahía, en donde existe un cordón de playa con una extensión media entre 50 y 75 metros. Además dispone de un paseo de diferente ancho, dependiendo del tramo de playa en donde se ubica. Por ello, en esta zona las edificaciones se encuentran a una distancia del mar mayor de 50 metros. En contraposición, en la zona de “El Faro”, no se dispone de extensión de playa. Como se ha comentado en el *Apartado 7.2.1.*, en el Plan General de Cullera no se prescribía ninguna limitación en cuanto a la ubicación de los edificios. Por consiguiente, en esta zona existe un número importante de edificaciones situadas a menos de 50 metros de la línea de costa. Otro de los factores que determina la distancia al mar de estas edificaciones, es la densidad urbanística existente en la localidad de Cullera. En una franja de terreno entre 200 y 250 metros, desde la playa hasta la base de la montaña, se ubican prácticamente el total del parque inmobiliario de esta tipología en la población, por lo que dispone de una gran densidad urbanística.

Además de la distancia a la línea de costa, es importante tener en cuenta la orografía de Cullera. Se observa claramente en la Fig. 7.4, que la gran mayoría de los aproximadamente 4,5 km de costa de que dispone la localidad corresponden a la zona de la Bahía con lo presenta una concepción urbanística marcadamente lineal. A causa de esta concepción, existe un elevado número de edificaciones ubicadas en primera línea de playa. No obstante, debido a la alta densidad edificatoria, sobre todo en la zona de la Bahía, existe también un importante número de inmuebles en segunda línea. En la zona de El Faro, la orografía hace muy difícil el aprovechamiento de las vistas y de la playa, por lo que los edificios en bloque plurifamiliar se son sustituidos por edificios de tipología unifamiliar a partir de una cierta distancia. Por ello, estos edificios se concentran en primera línea de playa.

Se puede apreciar en la Tabla 7.9 que el factor de vulnerabilidad de Cullera es de 13,0. Comparando este valor con el reflejado para las otras poblaciones analizadas en el *Apartado 6.7.*, se aprecia que dispone del mayor factor de vulnerabilidad por clase de crecimiento urbanístico. Esto se justifica atendiendo a que existen unos porcentajes importantes de ensanche por manzana cerrada y adaptado a costa.

Por todo ello se puede concluir que la localidad de Cullera presenta un alto grado de vulnerabilidad, si se compara con las poblaciones analizadas en este trabajo. Por zonas, El Faro dispone de un factor de vulnerabilidad por situación y distancia a la costa. Además, el factor de vulnerabilidad por antigüedad de las edificaciones de segunda residencia es similar. Considerando que en el régimen de precipitaciones y de viento no se ha hecho distinción entre las zonas, se puede determinar que la zona de El Faro presentará un mayor grado de vulnerabilidad.

Una vez determinada que Cullera presenta una vulnerabilidad alta, se hace necesaria la verificación de los datos obtenidos con el estudio pormenorizado de un edificio ubicado en la localidad de Cullera.

7.3. Análisis de un edificio afectado de corrosión severa en la localidad de Cullera

Una de las premisas más destacables de este trabajo de investigación ha sido el reconocimiento de que, en muchas de las intervenciones de carácter estructural que se han realizado en las edificaciones estudiadas, no se ha tenido en cuenta la importancia del tipo de exposición ni el tipo de construcción.

El edificio objeto de este análisis se ubica en la zona de El Faro, donde se ha especificado que la zona presenta un grado de vulnerabilidad mayor. El edificio ha estado expuesto durante un largo período al ambiente marino y posee un grado de corrosión severo.

El edificio está situado a unos 20 metros de la costa, a unos 16 metros en horizontal y unos 10 metros en vertical, y queda ubicado en primera línea de playa, por lo que el nivel de exposición al ambiente marino es importante. Se trata de un edificio con orientación preferente a la línea de costa, lo cual facilita su exposición al aerosol marino, e incluso, ocasionalmente, a las propias salpicaduras del agua de mar.

Puesto que lo que se pretendía en este estudio experimental era conocer el estado de la estructura y establecer las condiciones del hormigón y del acero presente en la misma, el trabajo presenta dos partes: primeramente, un trabajo de campo, a través de la inspección visual y la realización de ensayos in situ y, posteriormente, un trabajo en laboratorio a partir de las muestras recogidas en el trabajo de campo.

A continuación se procede a realizar una breve descripción del edificio y su estructura.

7.3.1. Descripción de la edificación y su estructura

El edificio objeto de este estudio corresponde a una edificación de segunda residencia en bloque plurifamiliar. Se trata de un inmueble con forma rectangular, de 13 plantas de altura. Así mismo está ubicado en una ladera, con calles situadas en las fachadas longitudinales a diferente nivel. Las plantas de estudio se sitúan entre la calle inferior y la calle de cota superior. Por lo que en este caso, la zona de estudio dispone de una fachada principal y dos laterales.

La longitud mayor del inmueble es de 80 metros, mientras que el ancho es de 18,64 metros. El edificio se construyó en el año 1968, dentro del primer período analizado en este trabajo.

Las plantas analizadas están dedicadas a aparcamiento de vehículos, con una estacionalidad importante: con mucho uso en los meses de afluencia turística (junio, julio, agosto y septiembre) y prácticamente sin uso el resto del año. La fachada de estas plantas es de cerramiento permeable a base de celosías, con lo que la niebla salina puede penetrar en el interior del edificio (Fig. 7.8).



Fig. 7.8. Imagen de la fachada en la zona del edificio donde se realiza el trabajo

La estructura es a base de pórticos unidireccionales de hormigón armado con vigas de cuelgue, donde apoya un forjado unidireccional de vigueta prefabricada pretensada autoresistentes y bovedilla de hormigón. Además, dispone de una junta de dilatación que divide al edificio en dos partes.

La investigación realizada contempla el estudio de los diferentes elementos que forman parte de la estructura: vigas, viguetas y pilares.

Las características de los pilares son: pilar cuadrado de 30x30 cm²; armaduras de 12 mm de diámetro dispuestas en las cuatro esquinas y con recubrimiento de 30 mm; estribos de 6 mm de diámetro dispuestos cada 30 cm. Las vigas son cuelgue de 30x40 cm de sección; 4 armaduras embebidas de 16 mm de diámetro, dos de las en la parte superior y dos en la parte inferior, con recubrimiento de 30 mm y estribos de 6 mm diámetro dispuestos cada 30 cm.

Las viguetas son de hormigón pretensado prefabricado, autorresistentes, y con tres alambres de acero en su parte inferior.

Para mayor comprensión del edificio, en la Fig. 7.9 y 7.10 se representan los croquis de la planta y los alzados del edificio respectivamente:

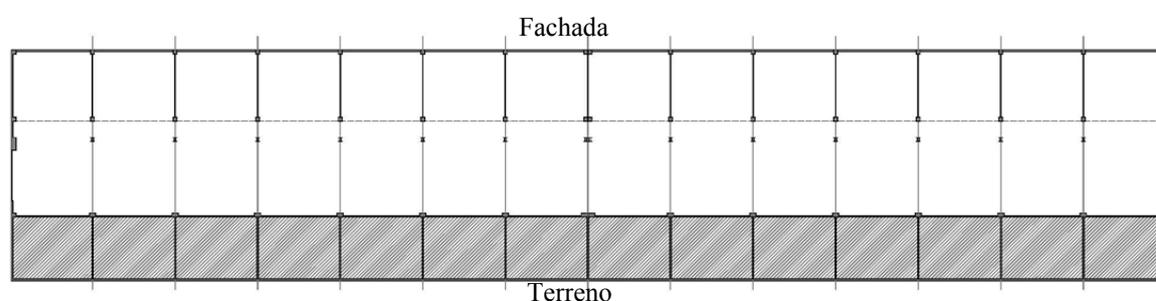


Fig. 7.9. Croquis de la planta del edificio objeto del trabajo

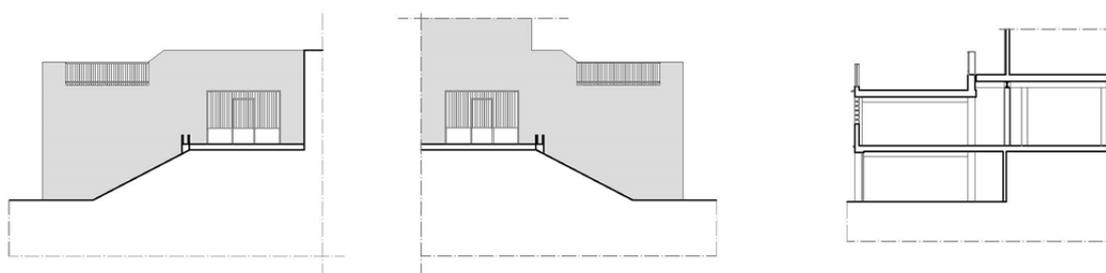


Fig. 7.10. Croquis de los alzados laterales y la sección del edificio

7.3.2. Trabajo de campo realizado

A continuación se describen los trabajos de campo realizados en el edificio analizado.

Primeramente se ha realizado una inspección in situ del estado de la estructura. En esta inspección, se ha comprobado que existe un deterioro del hormigón armado, en mayor o menor grado en prácticamente todos los elementos estructurales presentes en la zona del edificio a estudiar.

Los pilares, tanto interiores como exteriores, entendiéndose los primeros como los ubicados en

la zona central y los segundos los recayentes a la fachada principal, muestran una serie de manifestaciones patológicas como son grietas y fisuras longitudinales coincidentes con la ubicación de la armadura.

En algunos pilares se ha observado el desprendimiento del recubrimiento a causa de la oxidación de las armaduras. La Fig. 7.11 corresponde a un pilar situado en la fachada principal. En esta Fig. 7.11 se puede apreciar el desprendimiento del recubrimiento quedando a la intemperie las armaduras longitudinales, sin la protección del hormigón (Fig. 7.11.a). Se aprecia en la misma armadura del pilar un alto grado de corrosión con pérdida de sección y partes escamadas de fácil extracción (Fig.7.11.b).

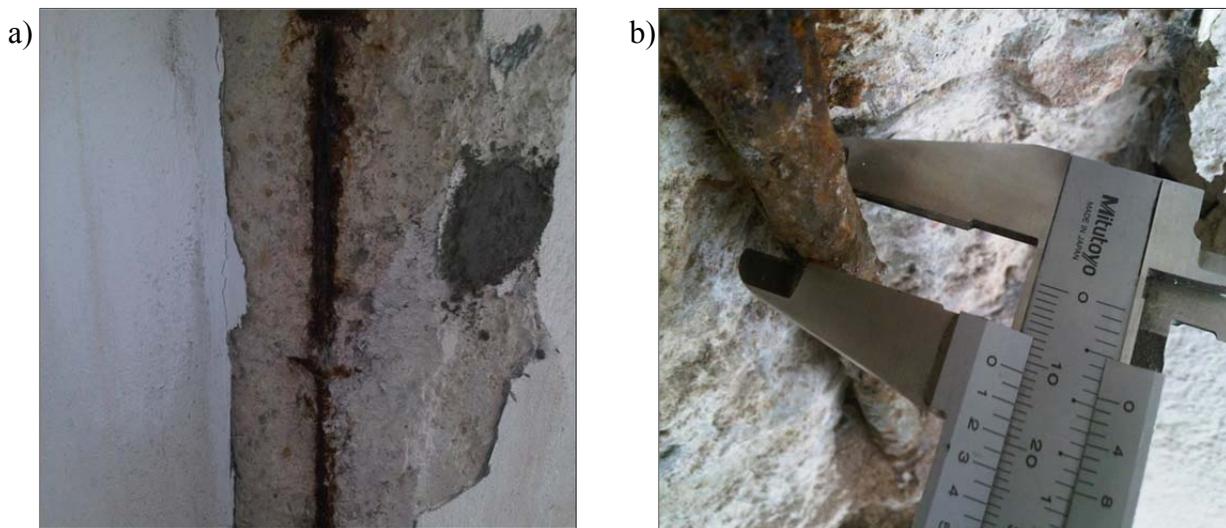


Fig. 7.11. Fotos de pilar: a) Desprendimiento del recubrimiento en pilar y b) pérdida de sección en armadura de pilar

En las imágenes siguientes se muestra con más detalle las exfoliaciones y pérdidas de sección tanto de estribos (Fig. 7.12.a) como de las armaduras longitudinales (7.12.b).

Se aprecia también la presencia de humedad, sobre todo en los pilares exteriores, que ha provocado la aparición de manchas y desprendimientos de la pintura y, en algunos casos, fisuración del revestimiento.

También se observa que varios pilares han sido objeto de reparaciones o parcheo a lo largo del tiempo, como consecuencia de desprendimientos anteriores.

Los daños en las vigas son mayoritariamente fisuras longitudinales de diversas magnitudes, todas ellas siguiendo la dirección paralela a las armaduras. En algunas partes, son apreciables desprendimientos del recubrimiento (Fig. 7.13).

Como se ha comentado anteriormente, los forjados son a base de viguetas pretensadas y bovedillas con un intereje de 70 cm, apoyadas en las vigas perpendiculares a la fachada principal. Generalmente se observan fisuras longitudinales paralelas a la armadura de las viguetas en la parte inferior de éstas. Estas fisuras aparecen en prácticamente todos los vanos. También se pueden apreciar manchas de humedad que se concentran en los aledaños de la fachada. En algunas zonas se han producido desprendimientos de bovedillas y de revestimientos.

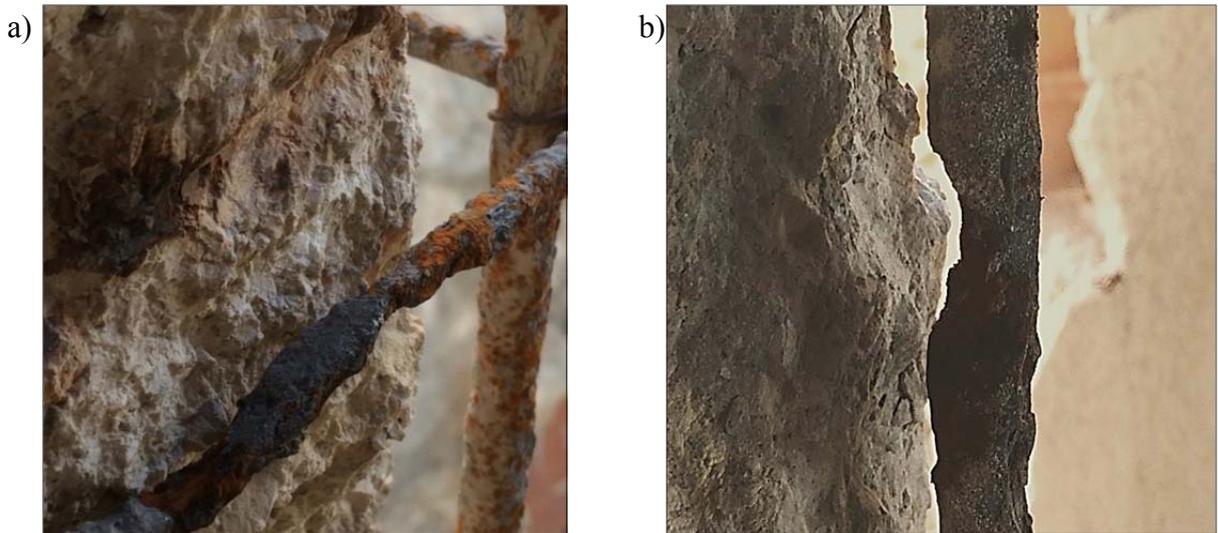


Fig. 7.12 Fotos de pilar a) pérdida de sección en estribo y b) pérdida de sección en armadura longitudinal



Fig. 7.13. Desprendimiento del recubrimiento en viga

El caso de corrosión más severo corresponde a las viguetas encontradas en el vano de fachada (Fig.7.14.a y Fig.7.14.b); en éstas, además de producirse el desprendimiento de todo el recubrimiento inferior, el grado de corrosión de los alambres de pretensado es elevado, con pérdida total de sección en gran parte de la zona afectada y disgregación de los óxidos formados, a través del hormigón.

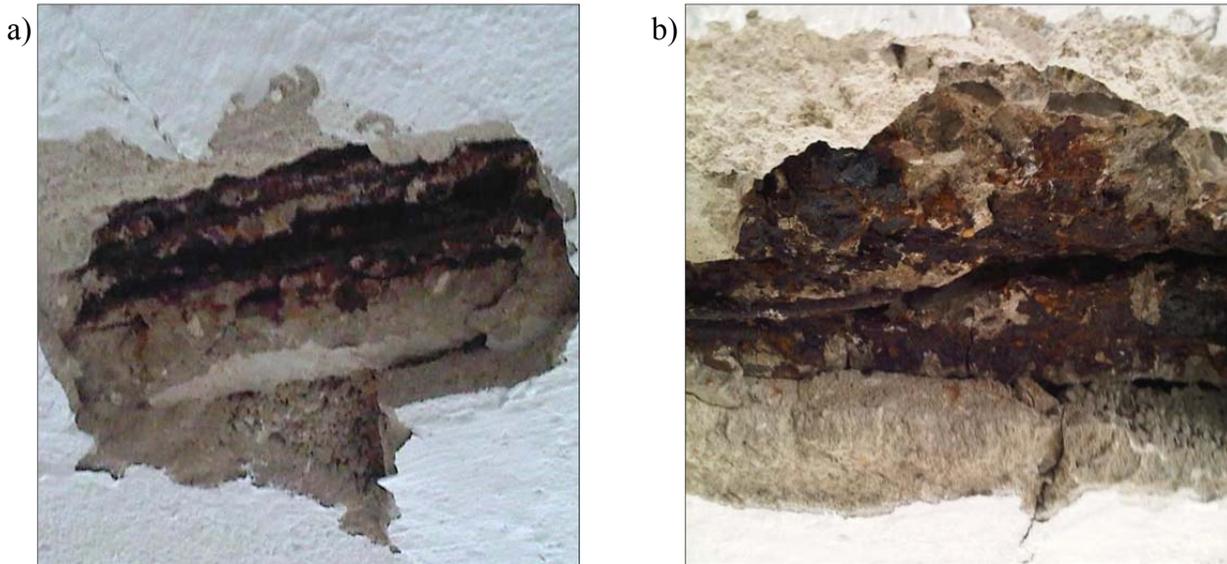


Fig. 7.14.a) Desprendimiento de recubrimiento en vigueta y b) disgregación completa del alambre en vigueta

Aparte de esta inspección in situ, se han realizado ensayos in situ. Estos ensayos han correspondido a una medición de la temperatura y humedad relativa en las inmediaciones del elemento estructural examinado, la profundidad del frente carbonatado y la resistividad del hormigón, en estado seco y en estado húmedo. Las pruebas se realizaron, mayoritariamente, en pilares, debido a la complejidad que entrañaba la realización de las mediciones en las vigas y viguetas. En la Fig. 7.15 se representa, en el croquis de planta, la ubicación de las pruebas y las muestras.

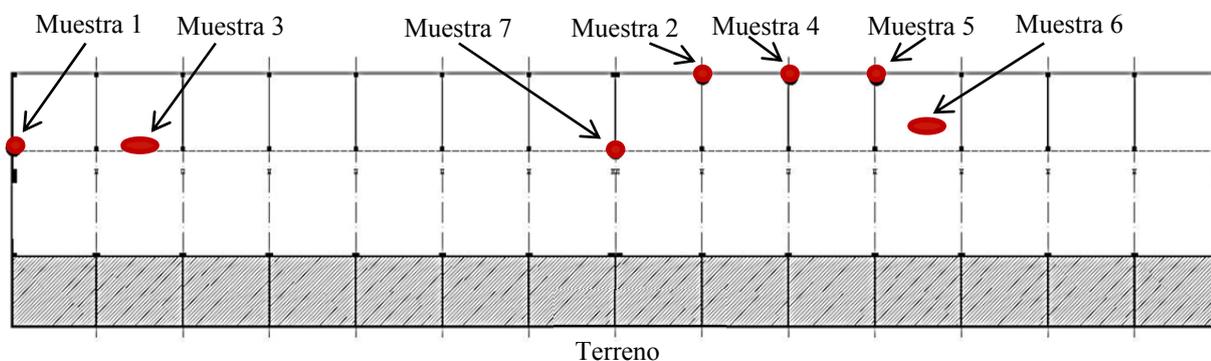


Fig. 7.15. Croquis con la ubicación de las pruebas realizadas en el edificio objeto del estudio experimental

Los valores de temperatura, humedad relativa y resistividad del hormigón se han realizado con un equipo denominado LG-ECR “*Electrochemical Corrosion Ratemeter*” (corrosímetro portátil *Gecor6*), conectado al sensor LG-ECS-O6B, que registra la temperatura ambiente (°C), la humedad relativa (%HR), y la resistividad del hormigón (kΩ.cm).

Según los datos de que disponemos, las muestras han estado sometidas a un intervalo de temperaturas entre 17,0°C y 24,6°C, entre los meses de octubre y diciembre, y a una humedad relativa, para los elementos interiores, comprendida entre un 59,0% y un 79,0%.

La profundidad de carbonatación se midió directamente en obra sobre elementos recién descubiertos, previamente seleccionados. Para ello, se usó la prueba de la fenoftaleína según la norma UNE-EN 14630:2007 (*AENOR 2007*). Esta prueba consiste en detectar el cambio de color del hormigón a rojo-púrpura cuando el pH del mismo es superior a 9. A valores por debajo de este pH el indicador no cambia de color, lo que indicaría que el hormigón está carbonatado. Como se puede apreciar en la Tabla 7.10, en relación a la profundidad de carbonatación, el hormigón carbonatado alcanza, en todos los casos, la totalidad del recubrimiento, e incluso llega más allá de la armadura.

En cuanto a la Muestra 7, la profundidad de carbonatación es mucho mayor que en las demás muestras. Esto puede ser debido a la ubicación del pilar, en la junta de dilatación del edificio. En esta zona, se comprobó que se producían filtraciones de agua desde la cubierta a través la junta.

Tabla 7.10

Profundidad de carbonatación de las medidas realizadas in situ en las diferentes muestras

Número de Muestra	Tipo de elemento	Profundidad carbonatación
Muestra 1	Pilar Interior	40 mm
Muestra 2	Pilar Interior	45 mm
Muestra 3	Viga	40 mm
Muestra 4	Pilar Exterior	45 mm
Muestra 5	Pilar Exterior	45 mm
Muestra 6	Vigueta	25 mm
Muestra 7	Pilar en junta	75 mm

La resistividad del hormigón es una medida que puede ayudar a interpretar la cinética del proceso de corrosión de las armaduras, que aunque depende del grado de humedad del hormigón, se acepta un rango de valores que están relacionados con la velocidad de corrosión (*Rodríguez et al. 1995*). Valores comprendidos entre 100 y 50 kΩ.cm indican baja velocidad de corrosión.

- Valores entre 50 y 10 $k\Omega.cm$ indican de moderada a alta corrosión.
- Valores inferiores a 10 $k\Omega.cm$, indica que la resistividad del hormigón ya no controla la velocidad de corrosión.

Los valores de resistividad del hormigón medidos en pilares y vigas se plasman en la Fig. 7.16. En viguetas no se pudieron obtener medidas fidedignas, debido, en general, al excesivo deterioro de la armadura.

La resistividad del hormigón fluctúa de forma importante dependiendo del grado de humedad de las muestras. No obstante, se realizaron ensayos con diferentes grados de humectación dando, en todos los casos, valores bajos de resistividad, que están relacionados con velocidades de corrosión moderadas y elevadas. Este dato concuerda con las aportaciones bibliográficas, si tenemos en cuenta que el edificio objeto de estudio está sometido a condiciones de humectación/secado propias de un ambiente marino (Medeiros et al. 2013). A tenor de estos valores de resistividad, el hormigón no actúa de barrera física para impedir la entrada de los agentes agresivos a la armadura. Los valores contemplados en la Fig.7.11, están por debajo de la resistividad esperada para un hormigón armado con una resistencia a compresión de 15 MPa o 17,5 MPa (Cobo 2001), que era la resistencia característica de la época de construcción del edificio. En cambio, los datos concuerdan con un hormigón poroso de baja calidad y carbonatado (Andrade 1989).

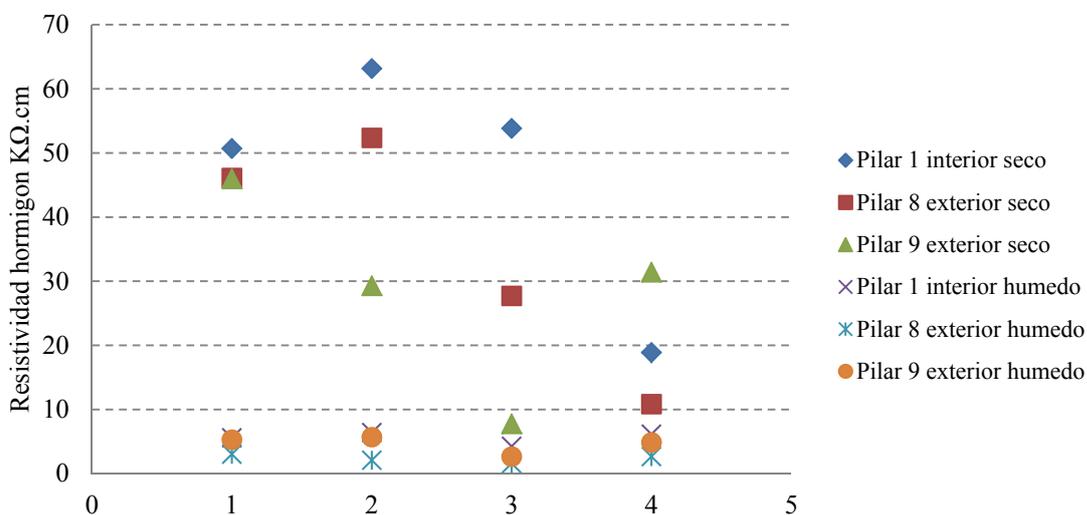


Fig. 7.16. Resistividad del hormigón en las pruebas realizadas

7.3.3. Ensayos de laboratorio realizados

Para realizar los ensayos de laboratorio se extrajeron muestras de los elementos reflejados en la Fig. 7.8. Los ensayos consistieron en determinar el volumen de poros la densidad del

hormigón y la absorción, así como el contenido en ion cloruro en peso de hormigón. Además, se analizó la interfase hormigón-acero de las muestras mediante microscopía óptica y electrónica.

7.3.3.1. Determinación del volumen de poros y la densidad del hormigón

Para la estimación del porcentaje del volumen de poros, la densidad del hormigón y la absorción después de inmersión de los elementos estudiados, se usó el método descrito en la norma ASTM C642 (ASTM 2013). En la Tabla 7.11 se muestran los valores obtenidos de los ensayos. De la muestra 6 no se pudieron conseguir muestras representativas. Por ello, no se pudo realizar los ensayos.

Tabla 7.11

Valores de volumen de poros, densidad y absorción de muestras de hormigón

Numero muestra	Tipo de elemento	Volumen de poros %	Densidad del hormigón mg/m3	Absorción después de inmersión
Muestra 1	Pilar Interior	15,58	2,603	5,937
Muestra 2	Pilar Interior	17,75	2,517	12,088
Muestra 3	Viga	13,92	2,515	5,97
Muestra 4	Pilar Exterior	13,30	2,613	7,552
Muestra 5	Pilar Exterior	15,07	2,645	5,805
Muestra 6	Vigueta	-	-	-
Muestra 7	Pilar en junta	14,13	2,646	5,893

7.3.3.2. Determinación del contenido en cloruros

En edificios con un elevado grado de exposición a la atmósfera marina, es el ión cloruro la principal causa de la corrosión de las armaduras. Por ello, se ha puesto especial interés en conocer el contenido en cloruros en el hormigón, para poder correlacionarlo con el nivel de daño de los elementos estructurales analizados.

La determinación del contenido de cloruros se efectuó en laboratorio a partir muestras de hormigón del recubrimiento, empleando para ello el procedimiento descrito en la norma UNE-EN-112010 (AENOR 2011). Este procedimiento se basa en el método de Volhard (valoración volumétrica por retroceso, mediante nitrato de plata y tiocianato de amonio, en presencia de una sal de hierro (III) utilizada como indicador). El resultado representa el % de cloruros totales (que se equipara con cloruros solubles en ácido) en la muestra.

Los valores obtenidos en las muestras de hormigón analizadas dan una concentración en ión cloruro, con respecto al contenido en peso del hormigón, que varían desde 0,60 % en la

muestra correspondiente a la viga (Muestra 3) a 0,85% correspondiente a la muestra de la vigueta (Muestra 6). Aunque el valor umbral de ión cloruro por debajo del cual no se produce la despasivación de la armadura depende de numerosas variables, es generalmente aceptado un porcentaje en contenido de ion cloruro de 0,4 % en peso de cemento (o un 0,05 % en peso de hormigón) si no está carbonatado (González *et al.* 1984, IVE 2008). En este sentido, el rango de concentración de ión cloruro en las muestras estudiadas es bastante elevado. Estos resultados se plasman gráficamente en la Fig. 7.17.

En la Fig. 7.17 se puede apreciar que, los pilares que se sitúan en la parte de la fachada disponen de un porcentaje más alto de cloruros totales. En cambio, en la viga y pilares ubicados en la parte interior, el porcentaje es sensiblemente inferior a las muestras exteriores. Con respecto a la Muestra 2, no se pudo realizar el ensayo de contenido en ion cloruro, debido a que contenía zonas de diferente hormigón, presumiblemente por haber tenido algún tipo de reparación anterior.

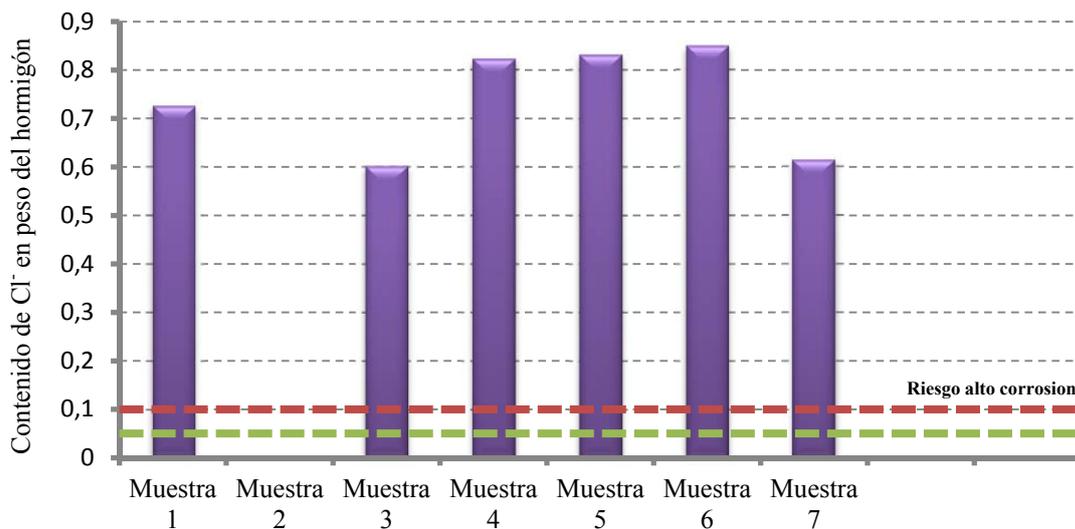


Fig. 7.17. Porcentaje del contenido en iones cloruro totales con respecto al peso del hormigón

7.3.4. Ensayos microestructurales realizados

Se extrajeron muestras de hormigón del recubrimiento y de armaduras para analizar la interfase hormigón-armadura mediante microscopía óptica (aumentos de 8x hasta 80x mediante una Lupa Binocular, marca Leica, modelo MZ APO) y microscopía electrónica de barrido, SEM (SEM2, marca JEOL, modelo JSM6300) con detector de electrones retrodispersados (BSE) o de rayos X (EDS o WDS), según necesidades. La magnificación de las imágenes fue desde 20x hasta 500x. La identificación de la naturaleza de los óxidos, tanto en la interfase armadura/hormigón, como en la propia armadura, se realizó mediante SEM con una magnificación de hasta 6000x; el análisis de los elementos presentes se hizo mediante el

microanálisis por EDS. Posteriormente se realizó un estudio diferenciando el hormigón superficial del recubrimiento y el hormigón unido a la armadura.

7.3.4.1. Análisis de las muestras de armadura por medio de microscopía óptica y electrónica y caracterización de los productos de corrosión

En las muestras de armadura analizadas se pone de manifiesto la presencia de un tipo de corrosión no uniforme, con zonas en las que aparecen picaduras profundas, típicas de la corrosión por cloruros. El ensayo mediante microscopía óptica nos permite observar la morfología superficial de la armadura (Fig 7.18.a) y también la profundidad de las picaduras en una sección transversal de la barra de acero (Fig. 18.b y Fig. 7.18.c). En todas las picaduras analizadas se identifican capas con diferente color y consistencia.

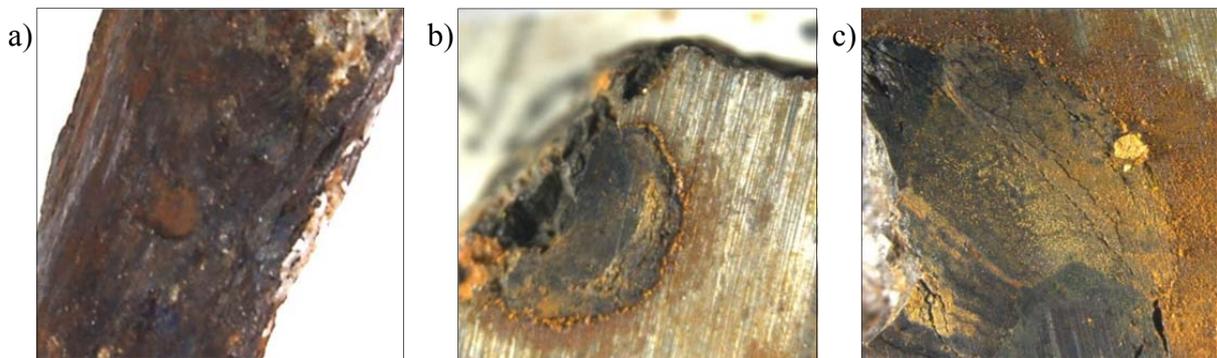


Fig. 7.18 Picaduras observadas mediante microscopía óptica: a) Armadura de vigueta con corrosión por picaduras, b) sección de armadura de pilar con corrosión por picadura, c) detalle de una picadura con incrustación de partícula salina

Así mismo, se ha podido observar que alrededor y en el interior de algunas picaduras aparecen depósitos de sales. En la Fig. 7.19, correspondiente a un aumento en microscopía electrónica de 20 aumentos y las Fig. 7.20.a y 7.20.b, correspondientes a aumento 100 aumentos se aprecian la aparición de dichos depósitos.

Para poder identificar la composición de cada una de las capas observadas en las picaduras, teniendo en cuenta que estos elementos estructurales han estado expuestos durante 45 años al ambiente marino, se procedió al análisis microestructural de la capa de óxido mediante microscopía electrónica (Fig.7.21.a). La presencia de los elementos mayoritarios se identifica mediante EDS, donde el color más claro identifica la mayor presencia del elemento analizado: hierro (Fig. 7.21.b), oxígeno (Fig. 7.21.c) y cloro (Fig. 7.21.d). La Fig. 7.20 nos ayuda a reconocer el espesor de la picadura, los distintos tipos de óxidos que aparecen y en qué zona se acumula en mayor grado el ion cloruro.



Fig. 7.19. Armadura de la vigueta mostrando corrosión por picaduras, observado mediante SEM de 20 aumentos

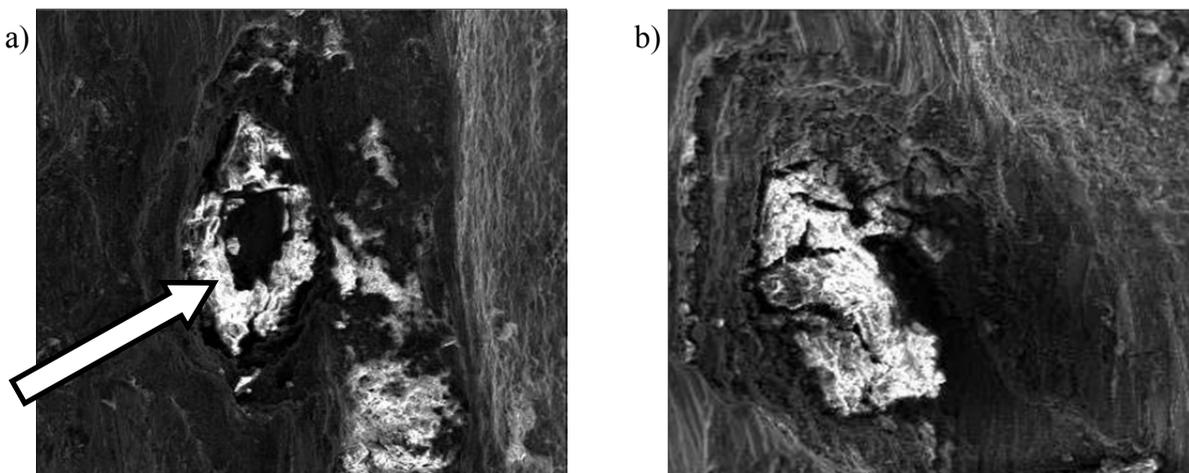


Fig. 7.20. Aumento mediante SEM a 100 aumentos de la picadura de la Fig. 7.14: a) Deposición superficial de sales en la picadura, b) deposición de sales en el interior de una picadura

En la Fig. 7.21.a se pueden apreciar claramente 5 zonas diferentes. La zona 1 corresponde al acero sin oxidar, las zonas del 2 al 5 corresponden a distintas composiciones de óxidos, como se refleja en los cambios de tonalidad grisácea y compacidad, que se correlaciona con la diferente concentración de cloruros. La zona 2 es la más interna, en la interfase armadura/óxido, donde el contenido en ion cloro es más bajo y responde a un tipo de óxido más compacto. Las zonas 3 y 4 corresponden a una capa de óxido más porosa, con mayor contenido en cloro (un poco inferior en la zona 3). La zona 5 comprende la capa más externa, de nuevo más compacta y con menor concentración de cloruros que la zona intermedia. Cabe destacar que en toda la picadura aparece el ion cloruro y numerosas fisuras, producidas por el diferente volumen de los óxidos formados. La relación atómica O /Fe es igual a 1 en la zona 2, más interna y más compacta, lo que indica que la naturaleza del óxido en esta capa es FeO,

contaminada con cloruros. El resto de las capas tienen una relación O/Fe mayor a 1, lo que sugiere que se trata de oxi-hidróxidos de hierro. En ambos casos, según *Koleva et al. (2006)* se sugiere la formación de complejos de cloruro-oxígeno y hierro

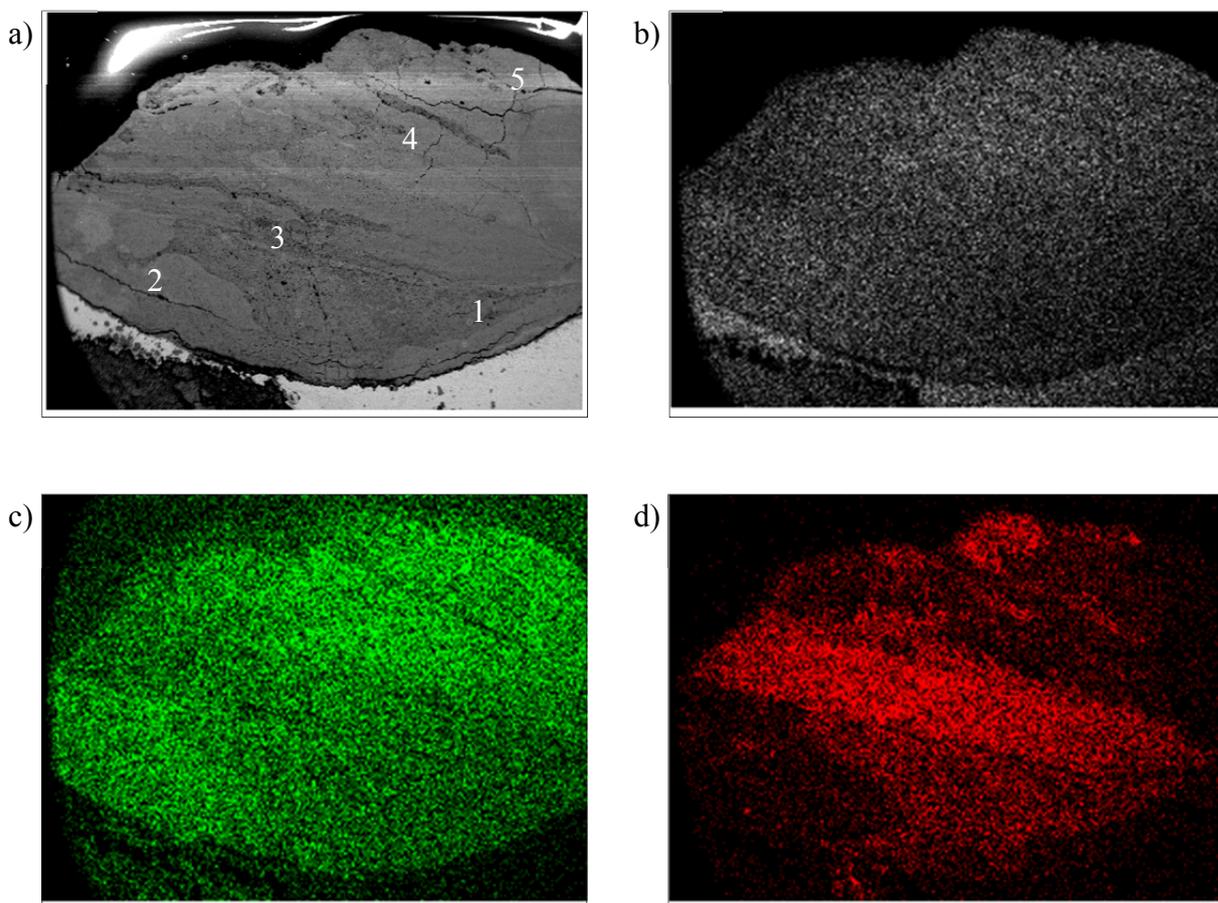


Fig. 7.21. Análisis microestructural de una capa de óxido. a) Distinta morfología de los óxidos e identificación de zonas, b) mapping presencia de hierro; c) mapping presencia de oxígeno; d) mapping presencia de cloro

En la Tabla 7.12 se muestra la composición por zona, en % atómico, de los elementos analizados.

Tabla 7.12

Composición en % atómico de los elementos analizados, por zona

Zona	Fe (% atómico)	O (% atómico)	Cl (% atómico)	Otros átomos
1	87 *	--	--	C, Mn
2	48.99	49.02	1.94-0.68	Si, S
3	44.55	44.55	10.77	--
4	39.66-39.57	44.63-42.22	17.13-13.73	Si, S, Ca
5	43.80-45.21	48.70-48.92	5.45-3.24	Si, S, Na

El análisis mediante EDXA de estos cristales ha dado como resultado la presencia de un alto porcentaje de iones cloruro Cl^- y sodio Na^+ sobre la armadura oxidada (Tabla 7.13).

Tabla 7.13

Análisis mediante EDXA de las deposiciones de sales en la picadura de la Fig. 7.20.a (ver flecha)

Elemento	% en peso	% atómico
O K	39.25	63.90
Na K	5.66	6.41
Mg K	0.25	0.26
Al K	1.49	1.44
Si K	2.42	2.25
P K	0.13	0.11
S K	1.04	0.84
Cl K	4.46	3.28
K K	1.19	0.79
Ca K	0.73	0.47
V K	0.03	0.01
Mn K	0.24	0.11
Fe K	43.12	20.12
Totales	100.00	

7.3.4.2. Análisis de las muestras de hormigón por medio de microscopía electrónica

En la superficie del hormigón se han encontrado grandes aglomeraciones de sales de cloruro sódico de diferentes morfologías (Fig. 7.22.a y 7.22.b). Estas formaciones presentan estructura abierta que deja asomar la presencia de carbonatos (Fig. 7.23.a). También se encuentran en estas muestras cristales de sulfato cálcico, probablemente yeso (Fig. 7.23.b)

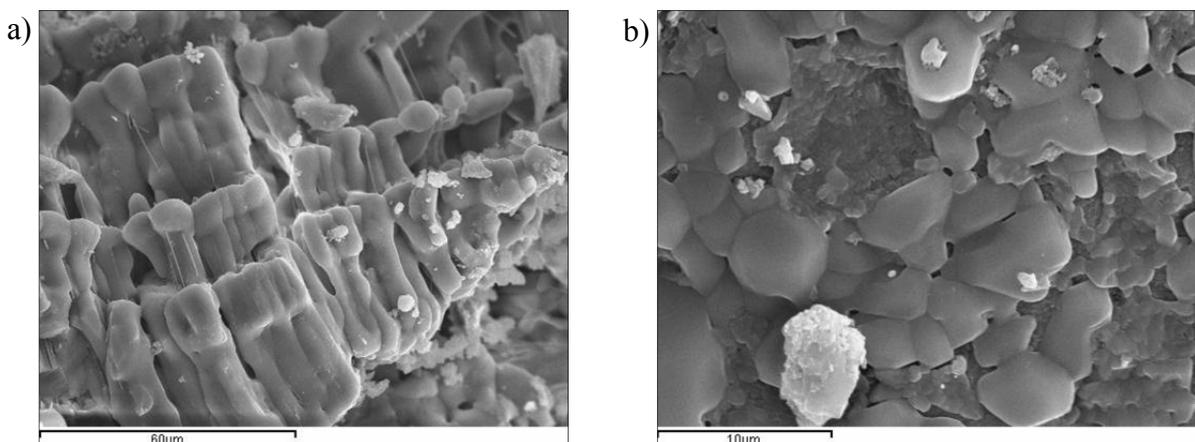


Fig. 7.22. Diferentes morfologías de sales a) cristales de NaCl y b) cristales de NaCl unidos a carbonatos

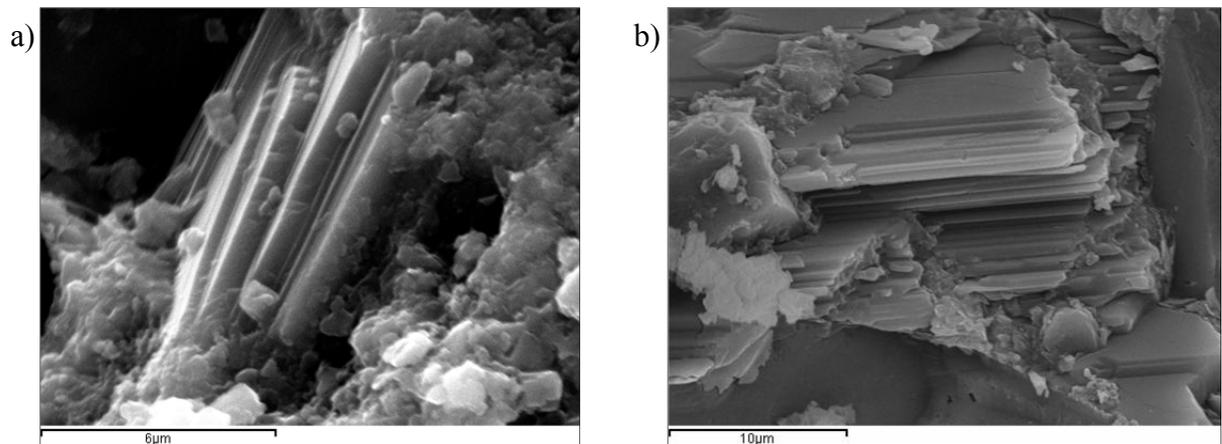


Fig. 7.23. Diferentes morfologías de cristales a) cristales de carbonato cálcico y b) cristales de sulfato cálcico

En el hormigón interno, próximo a la interfase hormigón-armadura, aparecen diversas formaciones cristalinas con muy diferente morfología y tamaño (Fig. 7.24.a). Destacan cristales de carbonato cálcico (Fig. 7.24.b). También se muestran diferentes formaciones de óxido de hierro disuelto (Fig.7.24.c). En estas dos últimas imágenes se permite observar una estructura abierta entre cristales, lo que le conferiría porosidad al material.

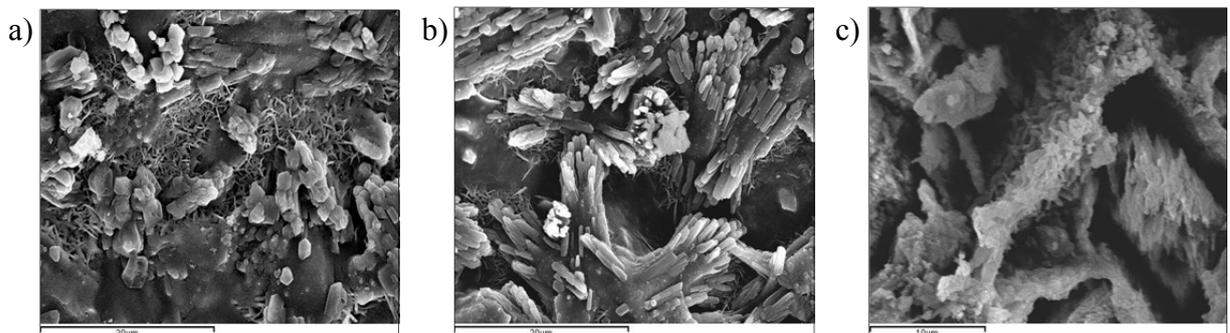


Fig. 7.24. Formaciones cristalinas. a) Formaciones cristalinas diversas, b) cristales de carbonato cálcico y c) formaciones de óxido de hierro disuelto en el hormigón próximo a la interfase hormigón-armadura.

7.3.4.3. Caracterización de óxidos de hierro

En la Fig. 7.25 se muestra la distinta morfología de los óxidos dentro de una misma picadura. En ambas fotografías la zona 1 señala un óxido que presenta una estructura más porosa, con la aparición de zonas más abiertas; el óxido de la zona 2 presenta una estructura más compacta. Obsérvese de nuevo, la aparición de numerosas fisuras por el distinto poder expansivo de los óxidos (Fig. 7.26).

En cuanto a la naturaleza de los óxidos formados en el proceso de corrosión, hay que

diferenciar los observados mediante EDX en la armadura del pilar, de los encontrados en viguetas. Los óxidos de la armadura del pilar son generalmente amorfos y sólo a elevados aumentos ($\times 6000$) se encuentran formaciones cristalinas y en zonas donde es más elevada la concentración de cloruros (Fig. 7.27.a). Los óxidos encontrados en las viguetas presentan diversas formas cristalinas identificadas con oxi-hidróxidos de hierro y cloro. Estos óxidos son más estables y de mayor cristalinidad (Fig. 7.28). La mayor predisposición de las viguetas a la corrosión debido al menor espesor de recubrimiento de hormigón, a las características del acero de pretensado (menor diámetro, tensiones internas, superficie, etc.) y a la mayor facilidad de llegada del oxígeno y cloro a la armadura, hace que sean más acusados los niveles de corrosión que presentan. En algunos casos se ha llegado a la desaparición completa del acero, con total disolución del mismo en el hormigón.

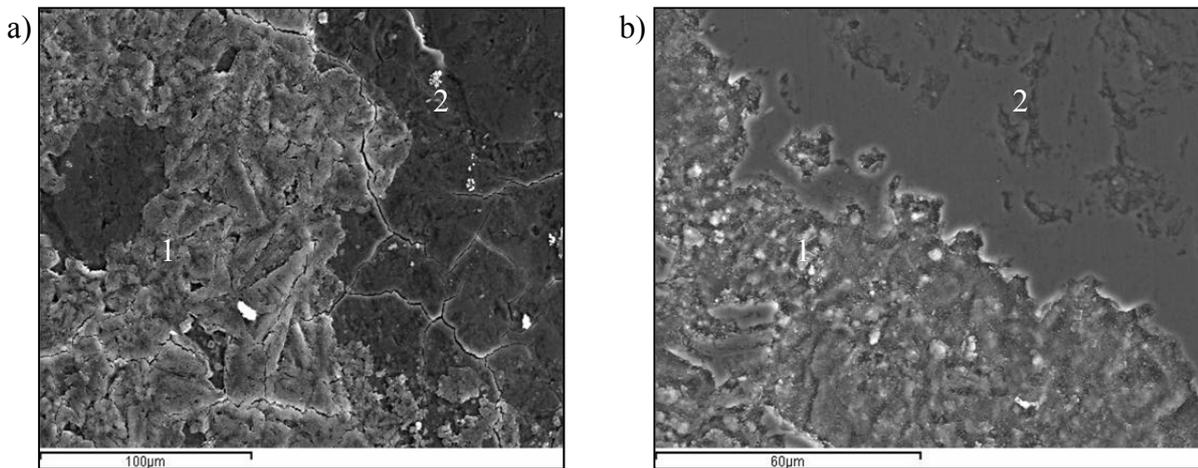


Fig. 7.25. Diferente morfología de los óxidos dentro de una picadura a) EDX 500x b) EDX 1000x

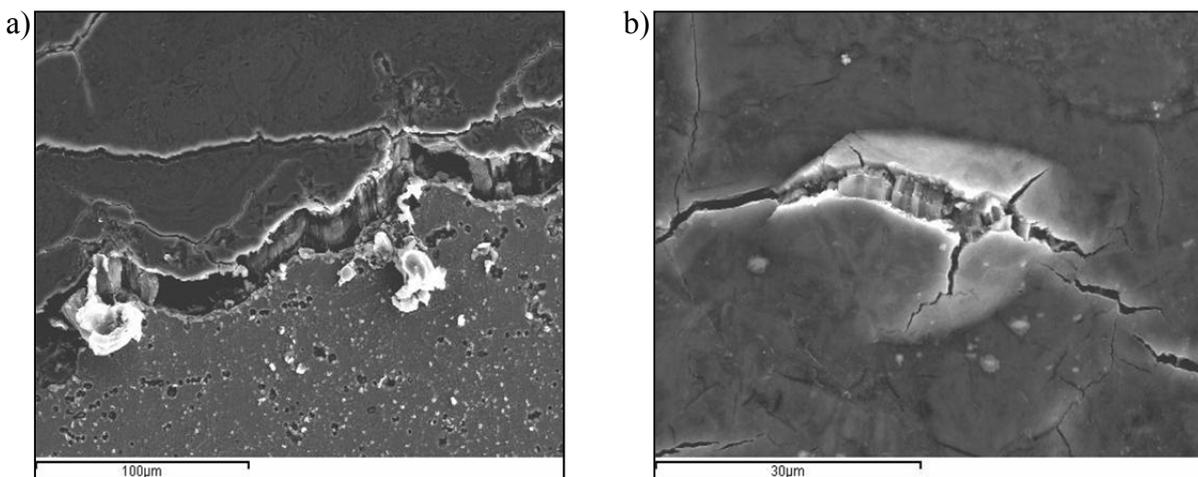


Fig. 7.26. Detalles de fisura por diferente poder expansivo de óxidos (EDX 500x)

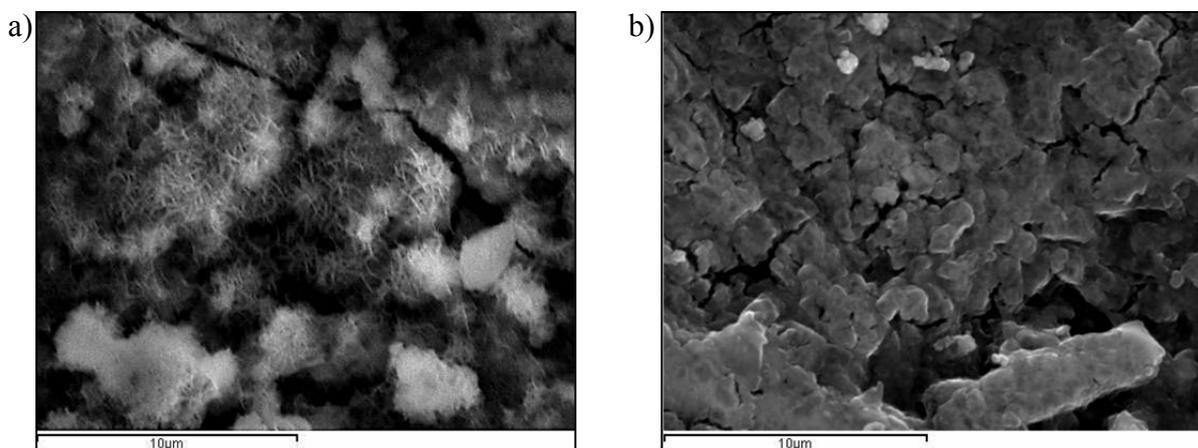


Fig.7.27. Naturaleza de los óxidos en picadura de armadura de pilar (6000 aumentos). a) Formaciones cristalinas encontradas en zonas con mayor concentración de ion cloruro; b) formaciones en zonas con menor concentración de ion cloruro

En la Fig. 7.28 se observan las morfologías de los óxidos de la muestra de armadura extraída de pilar y de viga analizada mediante SEM. En general, se trata de capas muy porosas, como corresponde a aceros sometidos a largas exposiciones al medio marino. Se aprecian morfologías aciculares en forma de “bolas de algodón” (“cottonballs”) y de rosetón (“rosette”). Aunque la forma de la superficie del óxido puede variar considerablemente entre diferentes exposiciones, parece claro que, si lo comparamos con la bibliografía (Duffó et al. 2004, Ma et al. 2009) las formas corresponden a la presencia de akaganeíta (β -FeOOH).

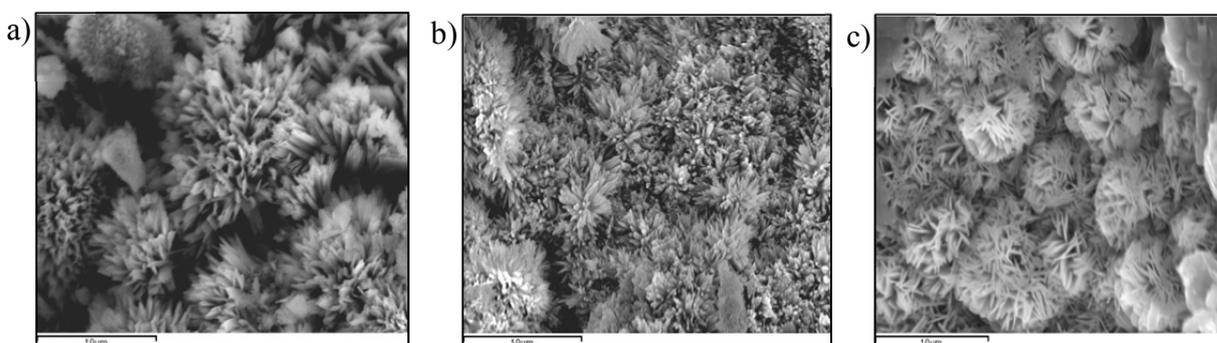


Fig. 7.28. Morfología de los óxidos en armadura de pilar y viga (4000 aumentos)

En la Fig. 7.29 se muestran imágenes de algunos óxidos presentes en la capa corroída de la armadura de la viga, previamente tratada con HNO_3 , para eliminar restos de mortero e impurezas no adheridas. En dicha figura aparecen cristales en estructura muy abierta. Si lo comparamos con los datos de la bibliografía, refleja la presencia de cristales de Lepidocrocita (γ -FeOOH) típica de ambientes de elevada corrosión (Poupard et al. 2006, Duffó et al. 2004, Antunes et al. 2003)

En la Fig. 7.30 se muestran formaciones típicas de Goethita (α -FeOOH). Según datos de la bibliografía consultada (Duffó et al. 2004, Poupard et al. 2006), la presencia de goethita suele estar unida a la presencia de magnetita (Fe_3O_4), que podrían corresponder a las formaciones que aparecen en la Fig. 7.30.a. En la interfase acero/picadura, el análisis mediante EDX muestra la presencia de óxido FeO, correspondiente a la capa de óxido más compacta y oscura, lo cual podría ser atribuida a la formación de wustita. No obstante, la presencia de wustita no ha podido ser contrastada con referencias anteriores

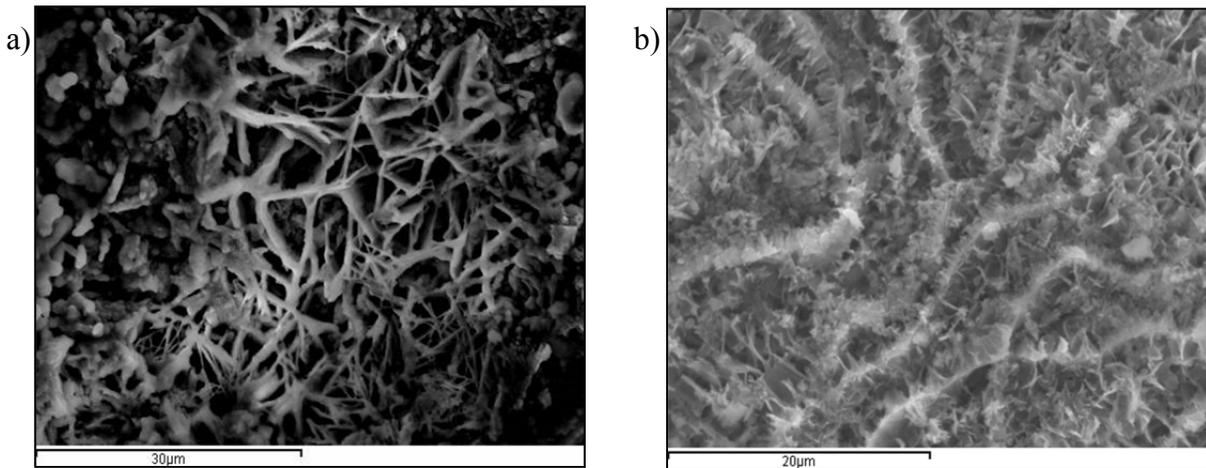


Fig. 7. 29. Naturaleza de los óxidos en armadura de vigueta (2000 aumentos)

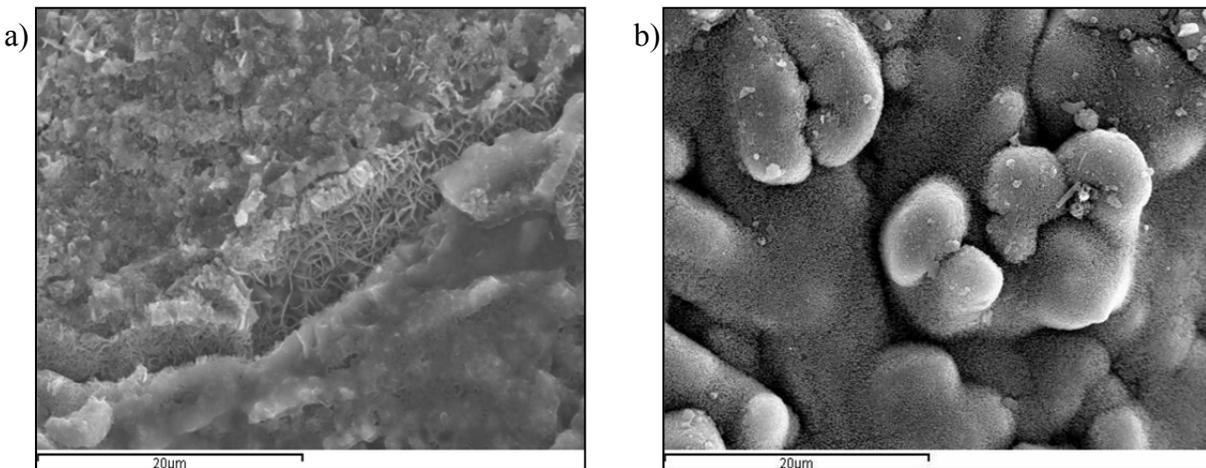


Fig.7.30. Formaciones de óxidos en armadura (3000 aumentos)

7.4. Conclusiones relativas al *Capítulo 7*

En este *Capítulo* se han presentado un estudio pormenorizado de la vulnerabilidad de una población, en este caso la localidad de Cullera. Según el procedimiento seguido en este trabajo, la vulnerabilidad de la localidad de Cullera se considera elevada, si se compara con las otras poblaciones. Los factores de vulnerabilidad de las variables analizadas condicionan un nivel de exposición elevado al ambiente marino. Teniendo en cuenta las características agresivas del ambiente marino, hay que considerar que los edificios en estas condiciones deben presentar un nivel de daños elevado, siendo la corrosión de las armaduras el tipo de daño más frecuente.

Estos datos se verifican realizando un estudio pormenorizado de una edificación de segunda residencia en bloque plurifamiliar ubicada en la zona de El Faro. Este análisis ha consistido, en primer lugar de un trabajo experimental en base a una inspección in situ y ensayos de campo. Posteriormente se ha realizado un trabajo de laboratorio y microscópico de una serie de muestras extraídas en diferentes elementos estructurales.

El trabajo experimental realizado ha dado como resultado las siguientes conclusiones:

- En la inspección in situ realizada se ha podido constatar el grado de deterioro de la estructura. Analizando los diferentes elementos estructurales, se ha observado la presencia generalizada de fisuras y grietas del tipo longitudinal siguiendo la dirección de la armadura. Así mismos, han aparecido desprendimientos del recubrimiento en pilares, vigas y viguetas. En cuanto a la armadura, se han podido observar escamados y pérdida de sección, tanto las armaduras principales como en los estribos. En los alambres de las viguetas más afectadas, se aprecia un grado de corrosión muy elevado, con pérdida de sección y disgregación del acero en el hormigón.
- Con respecto a la calidad del hormigón, su resistividad fluctúa en función de las variaciones humectación-secado en el hormigón. Los valores de resistividad están muy por debajo de los valores que se pueden considerar aceptables en el hormigón armado.
- Con respecto al volumen de poros y la densidad Las pruebas realizadas a las muestras sobre el volumen de poros y la densidad del hormigón, han demostrado que éste contiene una elevada porosidad. Este hecho confirma la baja calidad del hormigón vista en el punto anterior.
- Con respecto a las pruebas realizadas in situ, se ha constatado el alto grado de carbonatación que presenta el hormigón, con una profundidad que alcanza a la armadura.
- Las condiciones de temperatura y humedad relativa encontradas facilitan la difusión de CO₂ a través de la red de poros del hormigón, lo que justifica las elevadas

- profundidades de carbonatación encontradas.
- Los ensayos de cloruros realizados por el método de Volhard han demostrado la alta concentración de iones cloruro en el hormigón armado en todas las muestras analizadas. Este contenido en todos los casos supera ampliamente el umbral de cloruros reflejado en la bibliografía, a partir del cual se produce la despasivación de la armadura.
 - Los datos aportados por el análisis de las muestras por microscopía óptica han puesto de manifiesto la aparición de las picaduras típicas de un ataque por presencia de iones despasivantes, en este caso de cloruros. Además, se ha podido apreciar claramente la presencia de diferentes zonas, dentro de la picadura, que corresponden a distintas naturalezas del óxido formado.
 - La observación por microscopía electrónica ha revelado la aparición de cristales alrededor y dentro de la picadura. Al realizar el análisis mediante EDXA de esos cristales, se confirma un alto porcentaje de iones cloruro y de sodio.
 - En relación al hormigón, se ha encontrado presencia abundante de sales de cloruro sódico, sobre todo en la zona superficial de las muestras analizadas. Este hecho era esperable, dada la elevada exposición del edificio a la niebla salina y, ocasionalmente a salpicaduras de agua de mar, que alcanza a sus diferentes elementos estructurales . Se observan también cristales de carbonato cálcico, incluso en la interfase con la armadura. La presencia de estos cristales reafirma los valores de profundidad de carbonatación encontrados.
 - En las muestras donde la corrosión es más elevada (viguetas), se pueden identificar distintos tipos de oxihidróxidos de hierro disgregados en el hormigón. La morfología de estos óxidos es diferente, en función del grado de corrosión del acero, y su identificación permite relacionarlos con la capacidad expansiva de los mismos.

Llegados a este punto, se puede concluir que el edificio presenta un daño por corrosión severa debido, sobre todo, a la presencia de ion cloruro. Por ello, se propone para un trabajo posterior, la determinación de un índice de vulnerabilidad para evaluar el grado de daño de una población y, por extrapolación, a su parque inmobiliario.

CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y PROPUESTA DE NUEVAS INVESTIGACIONES

8.1. Conclusiones

Este trabajo se ha basado en determinar el estado del parque inmobiliario de segunda residencia en bloque plurifamiliar presente en la costa valenciana. Para ello, se ha efectuado un estudio de la tradición constructiva de la Comunidad Valenciana adaptada a la tipología edificatoria estudiada. También se han analizado las manifestaciones patológicas en las estructuras de los edificios de segunda residencia y las posibles causas que las han producido. Posteriormente se ha analizado la vulnerabilidad de las poblaciones a través del estudio de unas variables que afectan a la exposición al ambiente marino. Por último se ha efectuado un estudio de un caso específico de la vulnerabilidad de una población, en concreto la localidad de Cullera y de un edificio presente en ella.

Tras el trabajo desarrollado a lo largo de la presente Tesis Doctoral, podemos establecer una serie de conclusiones:

Respecto a Antecedentes y Estado del arte

- La tipología de edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar es una importante figura dentro del urbanismo de la costa valenciana. Esta tipología edificatoria ha sido el eje del crecimiento urbanístico que han experimentado muchas de las localidades costeras de la Comunidad Valenciana a lo largo de finales del siglo XX y principios del XXI. Por lo que el conocimiento del estado del parque inmobiliario de esta tipología resulta sumamente importante para futuras actuaciones en materia de regeneración urbana, tanto para técnicos como para Organismos Oficiales.

Respecto a las características del litoral valenciano

- A través del estudio general de los 62 núcleos urbanos presentes a lo largo de la costa valenciana, se establecen una serie de variables que permiten una primera catalogación de las localidades costeras. Estas variables son:

Régimen de vientos y orografía

Temperatura y régimen de precipitaciones
Distancia y situación con respecto a la costa
Antigüedad del parque inmobiliario
Crecimiento Urbanístico

Respecto a las características constructivas de la tipología residencial de segunda residencia en bloque plurifamiliar

Se han analizado las características constructivas de esta tipología, concluyéndose que:

- La tipología estructural a base de pórticos de hormigón armado es la más usada en estas edificaciones. Las vigas descolgadas fueron comunes en las primeras épocas estudiadas.
- Con respecto a la estructura horizontal, predomina la utilización de forjados unidireccionales de viguetas prefabricadas, sobre todo en las provincias de Castellón y Valencia. En Alicante, se presenta el uso de esta tipología con estructuras de viguetas in situ y forjados reticulares.
- El método constructivo más común en estas edificaciones es el conocido como húmedo o in situ.
- Con respecto a la fabricación del hormigón armado, en las diferentes normativas se dejaba a criterio del constructor la dosificación del hormigón. A partir del hormigón preparado en central, eran las propias empresas suministradoras del hormigón las que elegían la dosificación, con los datos extraídos de los proyectos. En cuanto al cemento usado, a partir de los años 90 se generaliza el uso del cemento tipo CEM II para edificación con adiciones. La disminución del contenido en el clinker Portland del cemento ha traído consigo la disminución de la reserva alcalina del hormigón.
- La resistencia característica del hormigón armado ha variado con respecto a las épocas estudiadas. La más usada en los proyectos en los primeros años era una resistencia de 17,5 MPa. La norma EH-91 (B.O.E. 158/1991) estableció una resistencia característica mínima de 25 MPa, que es la más utilizada en los proyectos a partir de la norma EH-91.
- Después de analizar los proyectos de la época y de las entrevistas realizadas, se puede concluir que los recubrimientos mínimos del hormigón en proyecto solían oscilar entre 25 y 30 mm. No obstante, el uso de separadores reglados no fue común en los primeros períodos estudiados, con lo que los recubrimientos de los elementos estructurales de hormigón armado no han sido uniformes.

Como conclusión principal del Capítulo 4 se puede extraer que la práctica constructiva en las obras de edificios ha ido evolucionando en el período analizado hacia un control más

exhaustivo de las características del hormigón. En los primeros períodos analizados, no existía un control del hormigón, tanto en la fabricación del hormigón como en su puesta en obra. Tampoco ha existido un control de los recubrimientos mínimos en ambiente marino, tanto por parte de las diferentes normativas como por parte de los profesionales en las obras de edificación.

Respecto a las manifestaciones patológicas más comunes y sus efectos sobre las estructuras

Con el objeto de determinar el estado del parque inmobiliario de segunda residencia en la costa valenciana, se realiza un estudio de las lesiones presentes en las estructuras de esta tipología edificatoria. Para ello, se extrae información por medio de tres vías:

- A través de un análisis de la realidad de los núcleos urbanos, mediante un recorrido e inspección ocular.
- A través de la experiencia en la zona, mediante análisis de proyectos de intervención realizados en las poblaciones seleccionadas, entrevistas a profesionales que han trabajado en reparaciones de estas edificaciones y encuesta anónima entre agentes de la construcción con experiencia en la zona.
- A través de datos obtenidos de informaciones en Organismos Oficiales, como es el caso de las inspecciones realizadas por la Dirección General de Arquitectura y Vivienda de la Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports de la Generalitat Valenciana -actualmente denominada Conselleria de Vivenda, Obres Públiques i Vertebració del Territori.

Las conclusiones extraídas de este trabajo son las siguientes:

- Existe un importante número de edificaciones de esta tipología con daños estructurales de diferente grado de importancia. Los núcleos urbanos con un porcentaje mayor de daños suelen coincidir con las poblaciones en donde existe una mayor tradición turística.
- En cuanto a la importancia de las lesiones, aunque el nivel más común de los daños es de clase 3 (sobre un máximo de 4), esto es, fisuras marcando la armadura y daño por corrosión moderado, existe un alto porcentaje de edificaciones que presentan daños estructurales de importancia elevada (clase 4), con desprendimientos del recubrimiento y daños por corrosión severa, con pérdida de sección en la armadura mayor del 10 %.
- Los elementos estructurales situados en las fachadas, tales como frentes de forjados, frentes de terraza y vigas planas que sobresalen de la línea de fachada son los lugares en donde se produce una mayor concentración de lesiones.
- La lesión más importante en las estructuras de esta tipología es la corrosión de las armaduras debida a la influencia del ambiente marino. El estudio de los proyectos de

intervención ha revelado que en los ensayos realizados en estos proyectos, se ha omitido el ensayo de presencia de ion cloruro, dando por supuesto la presencia de hormigón carbonatado como principal ataque a las armaduras.

- Se ha obtenido un índice de daños, que representa la importancia de las lesiones estructurales del parque inmobiliario de segunda residencia en cada población. A partir de ese índice se eleva una propuesta de clasificación de las poblaciones. Se pretende, a través de la interpretación de este índice, conocer el estado del parque inmobiliario de esta tipología y facilitar actuaciones posteriores.

Respecto a la vulnerabilidad de las poblaciones al ambiente marino. Factores de vulnerabilidad

Una vez se verifica las variables de exposición del total de núcleos urbanos presentes en la costa valenciana y determinado el estado del parque inmobiliario de segunda residencia, es posible efectuar un examen más exhaustivo de la vulnerabilidad de las poblaciones, concluyéndose que:

- Se ha demostrado que el conocimiento del factor de vulnerabilidad es una herramienta importante que permite clasificar las poblaciones en función de su exposición al ambiente. Esta exposición viene definida en este trabajo por el régimen de vientos soportado, la climatología, la situación del parque inmobiliario de segunda residencia, la antigüedad del parque y el crecimiento urbanístico.
- Con respecto a la exposición a los agentes ambientales, poblaciones como Torreblanca, Oropesa del Mar, Tavernes de la Valldigna y Xeraco presentan una exposición importante a los agentes atmosféricos. En contraposición, la Playa de San Juan posee un factor de vulnerabilidad más bajo.
- En relación a la ubicación del parque inmobiliario de segunda residencia, poblaciones como Peñíscola, Torreblanca, Port Saplaya, El Perellonet y Calpe tienen una vulnerabilidad elevada al situarse muchas de las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar en primera línea de playa. No obstante, si se combinan esa situación con la distancia de las edificaciones en la Costa, se aprecia que Peñíscola, Torreblanca y Calpe son las localidades más expuestas al ambiente marino.
- El examen de la antigüedad del parque inmobiliario de segunda residencia en bloque plurifamiliar, ha dado como resultado que existe un importante porcentaje de estas edificaciones a punto de agotar su vida útil, según la EHE-08 (B.O.E. 203/2008). Este porcentaje es del 22,3 % del total de inmuebles. Así mismo, se ha corroborado que la mitad del parque inmobiliario de los núcleos urbanos tiene más de 30 años. Poblaciones como Poble de Farnals, el Saler, el Perellonet, Cullera y Playa de San Juan disponen de un parque inmobiliario de un porcentaje mayor del 50 % construido

entre el primer y segundo período.

- El factor de vulnerabilidad por crecimiento urbanístico, confirma que poblaciones como Torreblanca, Moncofa, Cullera y Calpe presentan un elevado nivel de exposición, debido sobre todo a la presencia de ensanche en manzana cerrada en el caso de Torreblanca y Moncofa y a la combinación entre crecimiento urbanístico adaptado y ensanche en manzana cerrada como es el caso de Cullera y Calpe.

En el *Capítulo 6* se presenta una propuesta para determinar la importancia de las variables analizadas en este trabajo en el índice de daños definido en el *Capítulo 5*. Dicha propuesta permitiría, además, predecir el estado del parque inmobiliario de segunda residencia de las poblaciones a través de la relación existente entre los factores de vulnerabilidad y el índice de daños para cada población. La propuesta establece unos coeficientes de importancia de los factores de vulnerabilidad para cada variable. En función de estos coeficientes, es posible extraer las siguientes conclusiones:

- Se ha demostrado que el estudio de los factores de vulnerabilidad de las poblaciones puede ser una herramienta fácil de usar y que además permitiría determinar el estado del parque inmobiliario para cada población.
- Según las variables estudiadas, el factor más influyente en el índice de daños de las poblaciones es la antigüedad del parque inmobiliario de segunda residencia. La edad de los edificios determina en gran medida el porcentaje de edificaciones que presentan daños estructurales en estos núcleos urbanos. Por lo tanto, la antigüedad del inmueble influye significativamente en los daños que presentan las estructuras. Hay que tener en cuenta que no solo influye la edad de los edificios, sino la práctica constructiva de los primeros períodos analizados, en donde la dosificación y el control de la ejecución del hormigón se dejaba a criterio del constructor.
- El régimen de vientos es la segunda variable en importancia. Por ello, el viento predominante proveniente del mar y su velocidad es un factor fundamental en el índice de daños de las poblaciones y, por ende, en los daños estructurales de los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar.
- El régimen de precipitaciones es la tercera variable en importancia. Esta variable influye en el ciclo humectación-secado, por lo que se puede concluir que este ciclo tiene una influencia importante en el índice de daños de las poblaciones. Por lo tanto, el ciclo humectación-secado influye significativamente en los daños estructurales de los edificios de segunda residencia en bloque plurifamiliar.
- La variable de distancia a costa no se ha incluido en la determinación de los factores de vulnerabilidad que influyen en el índice de daños, debido a que la precisión de las franjas en las que se ha dividido esta variable son insuficientes para incluir esta variable en un tratamiento de tipo estadístico. Lo mismo ocurre con la variable de la clase de crecimiento urbanístico, en donde la precisión para determinar el grado de

influencia es insuficiente dentro del trabajo estadístico realizado.

Respecto al estudio del caso particular en el litoral valenciano

- El análisis en profundidad efectuado a una de las poblaciones, en concreto Cullera, ha determinado que en esta población, la vulnerabilidad es elevada. Por lo tanto, existe un riesgo importante de que exista un porcentaje de edificaciones de segunda residencia en la localidad afectadas por daños estructurales.
- Tal y como ha quedado reflejado en el Capítulo 5, dentro de este porcentaje existe un importante número de edificios afectados por corrosión causada por el ambiente marino.
- A través del trabajo experimental efectuado a un edificio ubicado en esta localidad afectado por corrosión severa, el porcentaje de ion cloruro con respecto al peso del hormigón presente en los elementos estructurales está entre un 0,6 y un 0,85 %. Con estos valores se puede afirmar que existe una presencia importante de ion cloruro.
- A través de datos extraídos de los ensayos realizados a las muestras, tanto de hormigón como de armadura, se ha podido comprobar que la corrosión ha sido causada por la presencia alta de ion cloruro. Se ha determinado la presencia de sales alrededor de las picaduras por corrosión en las armaduras. Además se ha podido observar que existe diferentes tipos de óxidos La morfología de estos óxidos es diferente, en función del grado de corrosión del acero, y su identificación permite relacionarlos con la capacidad expansiva de los mismos. Así mismo, la composición mineralógica ha determinado que existe importante presencia de Akaganeíta, que según la bibliografía se presenta en elementos expuestos al ambiente marino.

8.2. Aportación original de la Tesis Doctoral

Existe una amplia bibliografía sobre estudios de Patología en edificaciones y las causas que las producen. No obstante no existe ningún trabajo que evalúe el estado del parque inmobiliario de segunda residencia en bloque plurifamiliar, aunque esta tipología edificatoria dispone de una presencia importante en el litoral valenciano. Tampoco existe una herramienta que permita determinar la influencia de la exposición al ambiente en los daños estructurales presentes en el parque inmobiliario de una población determinada. En la presente Tesis Doctoral se ha analizado la tipología de edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar en la costa valenciana y la influencia de la vulnerabilidad de las poblaciones al daño que presentan, siendo la aportación original realizada:

- Por primera vez se ha realizado un estudio del estado de estas edificaciones a través

del análisis de las manifestaciones patológicas de las estructuras: el porcentaje de afectados, la ubicación más común de los daños y la lesión patológica más importante.

- Se ha planteado una herramienta que permite determinar los factores de vulnerabilidad a la exposición al ambiente marino de las poblaciones para poder clasificarlas atendiendo al riesgo de que existan daños estructurales en los edificios presentes en esos núcleos urbanos.
- El estudio de los factores de vulnerabilidad de las poblaciones permite a los profesionales que vayan a acometer intervenciones de regeneración, tanto a nivel urbanístico como edificatorio, conocer el estado del parque inmobiliario y la posible influencia que ha podido tener por extrapolación la exposición en los daños que podría presentar un edificio.
- A partir de este trabajo, adaptado al total de poblaciones del litoral se podría diseñar un mapa de vulnerabilidad de la costa valenciana. Este mapa podría ser usado por los Organismos Oficiales para plantear estrategias de regeneración urbana de las poblaciones en la costa.

8.3. Propuesta de nuevas investigaciones

Tras el estudio desarrollado en la presente Tesis Doctoral, se detecta la necesidad de efectuar nuevas investigaciones relacionadas con la costa valenciana:

- La vulnerabilidad se ha basado en las variables analizadas a lo largo de esta Tesis Doctoral. Las lesiones estructurales y sobre todo la corrosión de armaduras depende de muchas variables, no solo las especificadas en este trabajo. Por ello, sería conveniente analizar en profundidad todas las variables influyentes en los procesos de la corrosión para ver cómo afectan a los factores de vulnerabilidad de las variables determinados en la presente Tesis Doctoral.
- Sería interesante seguir avanzando en los aspectos cuantitativos de los factores de vulnerabilidad y su relación con el índice de daños, de manera que se permita la evaluación y el diseño de medidas preventivas durante el proceso edificatorio.
- Otro aspecto de interés que precisaría un examen pormenorizado, sería un estudio más exhaustivo de los factores de vulnerabilidad de las variables, las tradiciones constructivas y el estado del parque inmobiliario de una población concreta. Sería interesante efectuar dicho estudio coordinando este trabajo con las diferentes administraciones presentes, tanto la Administración Local, como la Generalitat Valenciana.
- Tal y como se ha comentado en el Apartado 8.2, a partir del trabajo realizado en esta Tesis Doctoral se debería plantear la realización de un mapa de vulnerabilidad de las diferentes poblaciones ubicadas en la costa valenciana, que permitiera efectuar las

- políticas de regeneración urbana demandadas por parte de la Comisión Europea.
- El estudio realizado en esta Tesis Doctoral se ha basado principalmente en la vulnerabilidad para poblaciones. Sería conveniente efectuar un estudio de la vulnerabilidad adaptado para los edificios, en el que mediante unas tablas se pudiera aventurar el estado de la estructura del inmueble y la presencia de daños por exposición al ambiente. Para ello, se propone establecer unas fichas de inspección que ayudara a determinar la vulnerabilidad de los edificios.
 - Así mismo, sería interesante plantear un estudio más experimental del comportamiento de las estructuras en los edificios de la costa valenciana, a través del análisis, tanto constructivo, como a nivel proyectual, de trabajos de rehabilitación o intervenciones de tipo estructural in situ de las edificaciones de segunda residencia en bloque plurifamiliar.
 - Además de todas estas propuestas, se debería recomendar el análisis de presencia de ion cloruro en los proyectos de rehabilitación para determinar el origen y tipo de corrosión para orientar la elección del sistema de rehabilitación más adecuado.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Referente al crecimiento urbanístico

- Aledo Tur, A. (2008). “De la tierra al suelo: la transformación del paisaje y el nuevo turismo residencial”. *Arbor*, 184(729), 99-113.
- Burriel de Orureta, E.L. (2008). “La década prodigiosa del Urbanismo Español (1997-2006)”. *Revista Scripta Nova*. Nº Extra 12, 270.
- Corine Land Cover (2000). “Coordination of Information on the Environment Land Cover”. Base de datos de la Agencia Europea de Medio Ambiente.
- Ferrer, J (2002). “Construir la costa, el litoral valenciano”. Consell Valencià de Cultura. Serie: Colecció Oberta. Valencia
- Obiol, E., Pitarch, M^a.D.(2011). “El litoral turístico valenciano. Intereses y controversias en un territorio tensionado por el residencialismo”. *Boletín de la Asociación de geógrafos españoles*, 56, 177-200.
- Ortuño i Finestrat, V. (1980). “El Turisme: factor clau a la transformació territorial i urbanística al País Valencià. Benidorm: Un cas pragmàtic”. [Extraído de la web de la Universitat d’Alacant www.ua.es, en Marzo 2013]. Ondara.
- Pecourt, J., Piñón, J.L. (1997). “La Valencia marítima del 2000. Estudio del frente marítimo desde Sagunt hasta Cullera”. COACV. Valencia
- Rodríguez, J (2006). “Los booms inmobiliarios en España. Un análisis de tres períodos.”; *Revista Papeles de Economía Española*, 109, 76-90.
- Salom, J. (2011). “Procesos territoriales y transformaciones recientes del sistema urbano valenciano”. *Revista Scripta Nova*, 15(356), 348-386.
- Vera, F. J., Cruz, J., Baños, C.J. (1995). “Turismo y Organización del territorio: desajustes de un modelo de implantación y nuevas estrategias”. *Cuadernos de Geografía*, 58, 439-474.

Referente al sistema constructivo

- APTA, (2006). “Análisis comparativo de soluciones estructurales y constructivas con productos siderúrgicos y de hormigón en las edificaciones”. Asociación para la promoción

técnica del acero, Madrid.

Calavera, J (2003). “Cálculos y conceptos en la historia del hormigón armado”. Discurso leído en el acto de su recepción como Académico de Honor el 18 de Julio de 2003. Academia de ciencias e ingeniería de Lanzarote.

Cobo, A. (2001). “Corrosión de armaduras en Estructuras de Hormigón Armado: Causas y Procedimientos de Rehabilitación” .Fundación Escuela de la Edificación. Madrid.

Conselleria d' Obres Públiques Urbanisme i Transports de la Generalitat Valenciana. “Inspecciones realizadas por la Dirección General de Arquitectura y Vivienda”. Base de Datos. [fecha de consulta Abril de 2015]. Actualmente denominada Consellería de Vivenda, Obres Públiques i Vertebració del Territori. Generalitat Valenciana.

García Alonso, M., Gutiérrez Jiménez, J.P., Rodríguez Santiago, J. (1998). “Influencia de la corrosión sobre la adherencia acero-hormigón. Hormigón y Acero, 210, 23-40.

García, A. (1989). “Modificaciones de la EH-88 respecto a la EH-82”. Informes de la construcción,41(401), 78-90.

Marco, E. (2013). “Análisis de la normativa del Hormigón armado en España y la influencia de los investigadores españoles desde 1939 a 1973. Aplicación de la técnica constructiva en la ciudad de Valencia”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

Monjó-Carrió, J. (2005). “Evolución de los sistemas constructivos en la edificación. Revista informes de la construcción.” 57(499-500), 38-54.

Oficemen (2013) Anuario 2013. Extraído de la web del grupo Agrupación de fabricantes de cemento de España [Consulta realizada en Abril de 2015] en www.oficemen.com

Serrano Lanzarote, B., García-Prieto Ruiz, S., Ortega Madrigal, L. (2009). “Características estructurales de los edificios de la Comunitat Valenciana construidos entre los años 1950-1980.” Congreso Nacional de Historia de la Construcción. Valencia 21-24 de Octubre.

Temes, R (2008). “La introducción del hormigón armado y su uso como sistema estructural en la vivienda en España. El caso concreto de la ciudad de Valencia”. Extraído de la tesis doctoral: Transformaciones residenciales sobre tejidos sin valor patrimonial. Universidad Politécnica de Valencia.

Referente a la corrosión del acero en el hormigón armado

ACI 222 R (2002). ”Protection of Metals in concrete against corrosion”. En American Concrete Institute: Manual of Concrete Practice. Part 1: Materials and General Properties of Concrete. Detroit.

- Ahmad, S (2008). "Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction". *Cement and Concrete Composites*, 25(4), 459-471.
- Alaejos, M.P., Bermúdez de Odriozola, M.A. (2008). "Corrosión de las armaduras en el hormigón situado en ambiente marino. Estado del arte". Serie Monografías, M-96. CEDEX. Madrid
- Alvedaño, R, Ortega, N.F. (2011) "Characterization of concrete cracking due to corrosion of reinforcement in different environment". *Construction and Building Materials*, 25 (2), 630-637.
- Andrade, C. (1989) "Manual de Inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras". Libro. CSIC. Madrid.
- Andrade, C., Alonso, C., Sarria, J. (1998). "Influencia de la Humedad Relativa y la Temperatura en las velocidades de corrosión de estructuras de hormigón". *Materiales de Construcción*, 48 (251), 5-18.
- Andrade, C., Muñoz, A., Torres-Acosta, A. (2010). "Correlación entre ancho de grieta del recubrimiento del concreto y corrosión del refuerzo en elementos expuestos a un ambiente natural contaminado por cloruros". *Concreto y Cemento: Investigación y desarrollo*, 1(2); 30-41.
- Angst, U., Elsener, B., Larsen, C.K., Vennesland, O. (2009). "Critical Chloride content in reinforced concrete, a review". *Cement and Concrete Research*, 39 (12), 1122-1138.
- Antunes, R.A., Costa, I., Araújo de Faria, D.L. (2003)." Characterization of Corrosion products formed don steels in the first month of atmospheric exposure". *Materials Research*, 3(6), 403-408.
- Bader, M.A. (2003). "Performance of concrete coastal environment" *Cement and Concrete Composites*. 25 (4), 539-548.
- Bentur, A., Diamond, S., Berke, N. (1997). "Steel Corrosion in Concrete". *Fundamental and Civil Engineering Practise*, E&FN, Spoon, London, UK.
- Bermúdez de Odriozola, M.A. (2007). "Corrosión de las armaduras del Hormigón Armado en Ambiente Marino: Zona de Carrera y Zona Sumergida". Estado del Arte de Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- BRE (1998); "Corrosion of reinforcement concrete: electrochemical monitoring." Centre For Concrete Construction, BRE Digest 434. Londres.
- Carvajal, A.M., Silva, C., Valiente, J., Venegas, A. (2004). "Medidas de potencial de corrosión en sistemas de penetración acelerada de iones Cl⁻, en hormigón armado". *Revista de la Construcción de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad Católica de*

Chile, 3 (1), 13-20.

Castellote, M., Andrade, C., Alonso, C. (2002). "Accelerated simultaneous determination of the chloride despassivation threshold and the nonstationary diffusion of coefficient values". *Corrosion Science*, 44 (11), 2409-2424.

Castro-Borges, P., O'Reilly, V., Fernández, I., Seiglié, I., Pérez García, E.J. (2005). "Influencia de la dirección del viento en los perfiles de cloruros obtenidos en estructuras cercanas al mar Caribe. Caso del viaducto Turiguanó-Cayo Coco en Cuba". *Materiales de Construcción*, 55 (277), 75-82.

CEB (1992): *Design Guide for Durable Concrete Structures*, 2nd edition; Thomas Telford Publishers.

Cheewaket, T., Jaturapitakkul, C., Chalee, W. (2012). "Initial corrosion presented by chloride threshold penetration of concrete up to 10 years-result under marine site". *Construction and building materials* 37, 693-698.

Cheng, D., Mahadevan, S. (2008). "Chloride-induced reinforcement corrosion and concrete cracking simulation". *Cement and Concrete Composites*, 30 (3), 227-238.

Chico, B., Otero, E., Mariaca, L., Morcillo, M. (1998). "La corrosión en atmósfera marina. Efecto de la distancia a la Costa". *Revista de metalurgia del Consejo Superior de Investigaciones científicas*, 34 (Extra), 71-74.

Chung, L., Najm, H., Balaguru, P. (2008). "Flexural behavior of concrete slabs with corroded bars". *Cement & Concrete Composites*, 30 (3), 184-193.

Climent, M.A., de Vera, G., López, J.F., Viqueira, E., Andrade, C. (2002). "A test method for measuring chloride diffusion coefficients through nonsaturated concrete. Part I: The instantaneous plane source diffusion case". *Cement and Concrete Research*, 32 (7), 1113-1123.

Climent, M.A., Garcés, P., Zornoza, E. (2008). "La corrosión de armaduras en hormigón armado". Club Universitario. Alicante.

Costa, A., Appleton, J. [1] (1999). "Chloride penetration into concrete in marine environment. Part I: Main parameters affecting chloride penetration". *Materials and Structures*, 32 (4), 252-259.

Costa, A., Appleton, J. [2] (1999). "Chloride penetration into concrete in marine environment. Part II: Prediction of long term chloride penetration". *Materials and Structures*, 32 (5), 354-359.

Cobo, A. (2001). "Corrosión de armaduras en Estructuras de Hormigón Armado: Causas y Procedimientos de Rehabilitación". Fundación Escuela de la Edificación. Madrid.

- Cramer, S.D., Corvino, B.S., Bullard, S, Holcomb, G.R., Russell, J.H., Nelson, I.J., Laylor, H.M., Sollesz, S.R. (2002). "Corrosion prevention and remediation strategies for reinforced concrete coastal bridges"; *Cement & Concrete Composites*, 24 (1), 101-113.
- De la Fuente, D., Díaz, I., Simancas, J., Chico,B., Morcillo, M. (2011). "Long-term atmospheric corrosion of mild steel." *Corrosion Science*, 53 (2), 604-617.
- Duffó, W., Morris, W., Raspini, I., Saragovi, C. (2004). "A study of steel rebars embedded in concrete during 65 years", *Corrosion Science*, 46 (9), 2143-2157.
- Fernández Cánovas, M. (1994) "Patología y Terapéutica del Hormigón Armado. 2ª Edición ampliada y ajustada al CEB". Dossat, S.A. Madrid.
- Fitzgerald, J.W. (1991). "Marine Aerosol: a review". *Atmospheric Environment*, 25 (3/4), 533-545.
- Gállego Estévez, J.M. (1998). "Los procesos de corrosión de las armaduras"; Curso sobre durabilidad y reparación de estructuras de Hormigón. CEDEX. Madrid.
- Garcés, O., Doug,R (2003)., "Influence of crack son chloride ingress into concrete". *ACI Materials Journal*, 100(2), 120-126.
- GEHO (1996). "Durabilidad de las estructuras de hormigón. Guía de diseño CEB", Grupo Español del Hormigón boletín GEHO, 12. Madrid.
- Glass, G., Buenfeld, N. (1997). "The presentation of the chloride threshold level for corrosion of steel in concrete". *Corrosion Science*. 39(5), 1001-1013.
- Glass, G., Buenfeld, N. (2000). "Chloride-induced corrosion of steel in concrete". *Progress in Structural Engineering and Materials*, 2 (4), 448-458.
- González, J.A., Andrade, C. (1984). "Teoría y práctica en la lucha contra la corrosión". CSIC. Madrid.
- González, J.A., Andrade, C., Alonso, C., Feliu, S. (1995). "Comparision of rates of general corrosion and maximum pitting penetration on concrete embedded steel reinforcement". *Cement and Concrete Research*, 25 (2), 257-264.
- Gonzalez, J.A., Feliu, S., Rodriguez, P., Lopez, W., Ramirez, E., Alonso, C., Andrade, C. (1996). "Some questions on the corrosion of steel in concrete. Part 1: When, how and how much steel corrodes". *Materials and Structures*, 29 (1), 40-46.
- Gonzalez, J.A., Feliu, S., Rodriguez, P., Lopez, W., Ramirez, E., Alonso, C., Andrade, C. (1996). "Some questions on the corrosion of steel in concrete. Part 2: Corrosion mechanisms and monitoring service life prediction and protection methods". *Materials and Structures*, 29 (2), 97-104.

- Hope, B., Ip, A.K., Manning, D.G. (1985). "Corrosion and electrical impedance in concrete." *Cement and Concrete Research*, 15 (3), 525-534.
- ICCET (1992). "Jornadas sobre en cemento aluminoso en el ICCET". *Materiales de Construcción*, 42 (226), 79-84.
- Ismail, M., Toumi, A., François, R., Gagné, R. (2008). "Effect of crack opening on the local diffusion of chloride in cracked mortar samples". *Cement and Concrete Research*, 38 (8), 1106-1111.
- Jaffer, S. J., Hansson, C. M. (2009). "Chloride-induced corrosion products of steel in cracked-concrete subjected to different loading conditions". *Cement and Concrete Research*, 39(2), 116-125.
- Koleva, D.A., Hu, J., Fraaij, A. L. A., Stroeven, P., Boshkov, N., De Wit, J. H. W. (2006). "Quantitative characterization of steel/cement paste interface microstructure and corrosion phenomena in mortars suffering from chloride attack" *Corrosion Science*, 48 (12), 4001-4019
- Liu, R., Jiang, L., Xu, J., Xiong, C., Song, Z. (2014). "Influence of carbonation on chloride-induced reinforcement corrosion in simulated concrete pore solution". *Construction and Building Materials*, 56, 16-20.
- Locke, C.E. (1986). "Corrosion of steel in Portland cement concrete. Fundamental studies". In *Corrosion Effect of Stray Currents and the Techniques for Evaluating Corrosion of Rebars in Concrete: A Symposium*. ASTM Special Technical Publication, 906.
- López, W., González, J.A. (1993). "Influence of the degree on pore saturation on the resistivity of concrete and the corrosion rate of steel reinforcement". *Cement and Concrete Research*, 23 (2), 368-376.
- Ma, Y; Li, Y, Wang, F. (2009). "Corrosion of low carbon steel in atmospheric environments of different chloride content". *Corrosion Science*, 51 (5), 997-1006
- Mather, B. (1966). "Effects of seawater on concrete". *Highway Research Record*, 113, 33-42.
- Mats E.R., Justafsson, L., Frazen, G. (1996). "Dry Deposition and concentration fo marine aerosols in a coastal area, Sweden". *Atmospheric Environment*, 30 (6), 977-989.
- Medeiros, M.H.F., Gobbi, A., Reus, G.C., Helene, P. (2013). "Reinforced concrete in marine environment. Effect of wetting and drying cycles, height and positioning in relation to the seashore". *Construction and Building Material*, 44, 452-457.
- Mehta, P.K. (1991); "Durability of concrete- Fifty years of progress?" *ACI Special Publication*, 126.

- Meira, G.R; Padaratz, J; Alonso, C; Andrade, C; (2002); “Efecto de la distancia al mar en la agresividad por cloruros en estructuras de hormigón en la costa brasileña”. *Materiales de Construcción*, 53 (271-272), 179-188.
- Miranda, J.M., Otero, E., González, J.A., Hernández, L.S. (2007). “Comportamiento del acero pre-corroído en solución saturada de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y en mortero de cemento. Posibilidades de Rehabilitación” *Revista Materiales de Construcción*, 57 (285), 5-16.
- Molina, A., Andrade, C., Alonso, C., González, J.A. (1985). Factores controlantes de la velocidad de corrosión en armaduras embebidas en morteros de cemento”; *Revista Técnica de Ingeniería de la Universidad de Zulia*, 8 (2), 9-15.
- Moragues, A. (2011). “Durabilidad de los hormigones en ambiente marino. Cálculo de la vida útil en servicio en obras civiles”. Presentación Asignatura. Puerto Rico Transportation Technology Transfer Center. Puerto Rico.
- Morcillo, M., Chico, B., Mariaca, L., Otero, E. (2000). “Salinity in marine atmospheric corrosion: its dependence on the wind regime existing in the site”. *Corrosion Science*, 42 (1), 91-104.
- Moreno, M., Morris, W., Alvarez, M.G. (2004). “Corrosion of reinforcing Steel in simulated concrete pore solutions; effect of carbonation and chloride content” *Corrosion Science*, 46 (11), 2681-2699.
- Moreno Fernández, E. (2008). “Corrosión de las armaduras del hormigón. Estudio experimental de la variación de la ductilidad en armaduras corroídas aplicando el criterio de acero equivalente.” Estado del Arte de la Tesis Doctoral. Universidad Carlos III de Madrid.
- Mosquera Rey, E. (2011). “Probabilismo explícito en la corrosión de armaduras en las estructuras de hormigón sometidas al ambiente marino de la costa gallega”. Tesis Doctoral De la Universidade da Coruña. Departamento de la Tecnología de la Construcción. La Coruña.
- Neville, A.M. (1995); “Properties of Concrete”. Longman. England.
- Paulsson-Tralla, J., Silfwerbrand, J. (2002). “Estimation of chloride ingress in uncracked and cracked concrete using measured surface concentrations”. *ACI Materials Journal*, 99 (1), 27-36.
- Pettersson, K. (1992). “Corrosion threshold value and corrosion rate in reinforced concrete”. CBI Report 2. Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm.
- Podolny, J.R. (1992). “Corrosion of prestressing steels and its mitigation”. Special Report. *PCI Journal*, 37 (5), 34-55.

- Poupard, O., L'Hostis, V., Catinaud, S., Petre-Lazar, I.(2006). "Corrosion damage diagnosis of a reinforced concrete beam after 40 years natural exposure in marine environment". *Cement and Concrete Research*, 36 (3), 504-520.
- RILEM (1985) Technical Committee, 32-RCA. Subcommittee Long Time Studies. "Seawater attack on concrete and precautionary measures". *Materials & Structures*, 18 (105), 223-226.
- Rio, O., Alonso, C., Andrade, C., Vega, L. (2000). "Comportamiento de la reparación localizada de viguetas armadas afectadas por corrosión." *Hormigón y Acero*, (217), 101-110.
- Rivero, S., Chico, B., dela Fuente, D., Morcillo, M. (2007); "Corrosión atmosférica del acero bajo en carbono en un ambiente marino polar. Estudio del efecto del régimen de vientos" *Revista de metalurgia*, 43 (5), 370-383.
- Rodríguez, M.J., Andrade, C. (1990). "Influencia de la corrosión de las armaduras en la capacidad portante de las estructuras de hormigón armado". *Revista Hormigón y Acero*, (175), 119-125.
- Rodríguez, J., Ortega, L.M., Casal, J., Vida, M.A. (1993). "Disminución de la adherencia entre hormigón y barras corrugadas debida a la corrosión". *Revista Hormigón y Acero*, (189), 49-65.
- Rodríguez, J., Ortega, L.M., García, A.M. (1995). "On-site corrosion measurements in concrete structures". *Construction Repair* 9 (6), 27-30.
- Sandberg, P (1998). "Chloride initiated reinforcement corrosion in marine concrete. Report TVBM-1015. Lund Institute of Technology, Division of Building Materials. Lund, Suecia.
- Sandberg, P., Tang, L., Andersen, A. (1998). "Recurrent studies of chloride ingress in uncracked marine concrete". *Cement and concrete research*, 28 (10), 1489-1503.
- Shiotani, K., Tanimoto, W., Maeda, C., Kawabata, F., Amano, D. (2000). "Analysis for Structure of rust layer formed on weathering steel bridge for bare use exposed in coastal industrial zone for 27 years". *Corrosion Engineering*, 49(2), 67-71.
- Uhlig, H.H. (1970). "Corrosión y control de corrosión." Traducido por Aguilar, E. Urmo. Bilbao.
- Waterencyclopedia.com [fecha de consulta, Septiembre de 2015] "Composition of sea water". En <http://www.waterencyclopedia.com/Mi-Oc/Ocean-Chemical-Processes.html>

Referente a datos generales y de climatología

- AEMET. Agencia Estatal de Meteorología. [fecha de consulta, Abril de 2015]. “Información meteorológica de las estaciones ubicadas en las provincias de Alicante, Castellón y Valencia”. Datos disponibles en <http://www.aemet.es/serviciosclimaticos>
- Ayuntamiento de Oropesa del Mar. “Plan General de Ordenación Urbana P.G.O.U.”. Aprobado provisionalmente en Pleno celebrado el 14 de Enero de 2009. Oropesa del Mar (Castellón)
- Ayuntamiento de Peñíscola. “Plan General de Ordenación Urbana P.G.O.U.”. Aprobado provisionalmente en Pleno celebrado el 2 de Julio de 2010. Peñíscola (Castellón).
- Barba-Romero, S., Pomerol, J. (1997). “Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá de Henares. Alcalá de Henares.
- Catastro, Dirección General del Catastro. [fecha de consulta, Enero de 2015]. “Información catastral de bienes inmuebles de las localidades”. Datos disponibles en <http://www.sedecatastro.gob.es/>.
- Casanova, M. M. (2014). “Metodología para la evaluación y seguimiento de procedimientos constructivos de forma sostenible e integrada” Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería de la Construcción. UPC. Barcelona.
- C.H.J. [fecha de consulta, Septiembre 2014]. Confederación Hidrográfica del Júcar.” Mapas de Peligrosidad de riesgo de inundaciones. Anexo”. Recurso electrónico. Disponible en <http://www.chj.es/es-es/medioambiente/>
- CIDAM. [fecha de consulta, Abril de 2015]. Centro de Información y Documentación Ambiental. Recurso electrónico. Disponible en <http://www.citma.gva.es>.
- Consellería de Medi Ambient, Urbanisme i Habitatge, (2011); “Plan de Acción Territorial de infraestructuras verde y paisaje”. Propuesta para información Pública. Cátedra de Municipios Sostenibles. UPV. Valencia
- I.N.E. Instituto Valenciano de Estadística [Fecha de consulta, junio 2015] “Censo de edificios de viviendas en el año 2011”. Disponible en <http://www.ive.es/ivepegu>
- IVE. 2008 “Guía para la Inspección y Evaluación de estructuras de hormigón en edificios existentes”. Instituto Valenciano de la Edificación. Consellería de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda. Valencia
- IVIA. [fecha de consulta Abril de 2015] “Información sobre Datos meteorológicos” Instituto valenciano de Investigaciones agrarias. Dentro de Servicio de Meteorología del Riego,

disponible en <http://www.ivia.gva.es>.

Lovett, R.F. (1978). "Quantitative measurement of airborne sea-salt in the North Atlantic". *Tellus*, 30(4), 358-364.

Portal estadístico de la Generalitat Valenciana. [fecha de consulta, Abril de 2015]. Portal Instituto Valenciano de Estadística. Recurso electrónico. Disponible en <http://www.ive.es>.

Mas, V.; Temes, RR.; Serrano, AB.; Jiménez, C.; Azulay, M. (2015). Resultados Proyecto investigación ERAM. Estrategias para la regeneración sostenible de asentamientos turísticos en la costa mediterránea. En <http://hdl.handle.net/10251/47918>. UPV Valencia

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. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Construcciones arquitectónicas. Valencia

Pérez Cueva, A. (1994). "Atlas climático de la Comunidad Valenciana: (1961/1990)". Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports. Valencia.

Quereda Sala, J. (1989). "Efectos orográficos y fricciones en el clima del Levante español". *Revista de Geografía*, 23(1), 61-74.

R.A.E. [fecha de consulta, Enero de 2015]. Real Academia de la Lengua. Recurso electrónico. Disponible en <http://www.rae.es/>.

Windfinder [web en línea] [fecha de consulta, Abril de 2015], disponible en <http://www.windfinder.com>.

Wolfram Research, Inc. [recurso on-line, fecha de consulta, Diciembre de 2015]. "Wolfram Mathematica". Versión 10. Illinois (U.S.A.) c1988. Programa Computacional.

Referente a Normativa usada

Instrucciones del Hormigón armado y Hormigón Preparado

B.O.E. 163/1964. Boletín Oficial del Estado del 8 de Julio de 1964, en el que se aprueba la ORDEN de 24 de junio de 1964 sobre Fomento de la Normalización de la Calidad en los Conglomerantes Hidráulicos. Ministerio de Industria. Madrid

B.O.E. 290/1968 Boletín Oficial del Estado del 3 de diciembre de 1968, por el que se aprueba La Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en masa o Armado (HA-68). Presidencia del Gobierno. Madrid

B.O.E. 113/1972. Boletín Oficial del Estado del 11 de Mayo de 1972. Orden de 5 de Mayo de

- 1972 por la que se aprueba La Instrucción para la Fabricación y Suministro de Hormigón Preparado (EHPRE-72). Ministerio de Obras Públicas. Madrid
- B.O.E. 293/1973 Boletín Oficial del Estado del 7 de diciembre de 1973 en el que se aprueba La Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado (EH-73). Presidencia del Gobierno. Madrid.
- B.O.E. 206/1975. Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 1964/1975, de 23 de mayo, por el que se aprueba el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos (RC-75). Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid
- B.O.E. 9/1981 Boletín Oficial del Estado REAL DECRETO 2866/1980 .de 11 de octubre por el que se aprueba la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras De Hormigón en Masa o Armado (EH-80). Ministerio de Obras públicas y Urbanismo. Madrid
- B.O.E. 219/1982. Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 2252/1982 por el que se modifica la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras De Hormigón en Masa o Armado (EH-82). Ministerio de Obras públicas y Urbanismo. Madrid
- B.O.E. 180/1988 Boletín Oficial del Estado Real Decreto 824/1988, de 15 de julio, por el que se aprueba la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras De Hormigón en Masa o Armado (EH-88) y la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Forjados Unidireccionales de Hormigón Armado y Pretensado (EF-88). Ministerio de Obras Públicas. Madrid
- B.O.E. 1312/1988. Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 1312/1988, de 28 de octubre, por el que se aprueba el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos (RC-88). Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid
- B.O.E. 158/1991 Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 1039/1991, de 28 de junio, por el que se aprueba la «Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras De Hormigón en Masa o Armado (EH-91). Ministerio de Obras Públicas y transportes. Madrid
- B.O.E. 152/1993. Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 805/1993, de 28 de mayo, por el que se aprueba la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón Pretensado (EP-93). Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Madrid
- B.O.E. 783/1999. Boletín Oficial del Estado. En el que se dispone el Real Decreto 2661/1998, de 11 de diciembre, por el que se aprueba la «Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-98). Ministerio de Fomento. Madrid
- B.O.E. 203/2008. Boletín Oficial del Estado en el que se dispone el REAL DECRETO 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08). Ministerio de Presidencia. Madrid

Comité técnico AEN/CTN 83 Hormigón 2011 “Productos y Sistemas para la Protección y Reparación de Estructuras de Hormigón Definiciones, requisitos, control de calidad y evaluación de la conformidad. Parte 9: Principios Generales para el uso de productos y sistemas”. AENOR. Madrid.

D.G.A. 1941; “Normas para el Cálculo y Ejecución de Estructuras Metálicas, de Hormigón Armado y forjados de ladrillo armado” de la Dirección General de Arquitectura. Madrid.

I.E.T.C.C. 1961. Instrucción Especial para Estructuras de Hormigón Armado. Instituto Eduardo Torroja. Patronato Juan de la Cierva de investigación técnica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.

Orden de 3 de febrero de 1939 donde se aprueba la “Instrucción para el Proyecto y Ejecución de Obras de Hormigón HA-39” Ministerio de Obras Públicas. Madrid

Normativas varias

AENOR (2007); “Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la profundidad de carbonatación en un hormigón endurecido por el método de la fenolftaleína. UNE-EN 14630:2007”. Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid.

AENOR (2011); “Corrosión en armaduras. Determinación de cloruros en hormigones endurecidos y puestos en servicio. UNE 112010:2011”. Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid.

AENOR (2000); “Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes. UNE-EN 197-1:2000”. Asociación Española de Normalización y Certificación. Madrid.

ASTM (2013), “Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, C642-13 “; ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org

B.O.E. 135/1956. Boletín Oficial del Estado del 12 de mayo de 1956 en el que se aprueba la Ley de 12 de Mayo de 1956 sobre Régimen de Suelo y Ordenación urbana. Jefatura del Estado. Madrid

DOCV 74/1982 del 15 de Julio de 1982 en el que se aprueba la Ley Orgánica 5/1982, de 1 de julio, de Estatuto de Autonomía de la Comunidad Valenciana .Generalitat Valenciana. Valencia

DOGV 1638/1991 de 08 de Octubre por el que se aprueba la Orden de 30 de septiembre de 1991, por la cual se aprueba el Libro de Control de Calidad en Obras de Edificación de Viviendas (LC-91). Conselleria d’Obres Públiques, Urbanisme i Transports. Valencia

- DOGV 2394/1994 de 24 de Noviembre en el que se aprueba la Ley 6/1994 de 15 de noviembre, reguladora de la actividad urbanística. Generalitat Valenciana. Valencia
- ORDEN 1999/3917 de 26 de abril de 1999, del Conseller de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, por la que se aprueba el Reglamento de Zonas de Ordenación Urbanística de la Comunidad Valenciana
- ORDEN 8/2015, de 24 de marzo, de la Consellería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, por la que se aprueban las bases reguladoras del Programa de Rehabilitación Edificatoria para el periodo 2013-2016, y se convocan las ayudas para el ejercicio 2015.
- R.D. 1471/1989 de 1 de diciembre, por el que se aprueba la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, que derogaba a la Ley de Costas de 26 de abril de 1969, y estaba desarrollada en el Reglamento de la Ley de Costas.
- R.D. 2429/79, de 6 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79, sobre Condiciones Térmicas en los edificios, publicada en el BOE, 22 de octubre de 1979, nº 253. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid.
- B.O.P. 181/95 de 1 de agosto, por el que se publica el Plan General de Ordenación Urbana de Cullera. Consellería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes. Valencia.

ANEXO A. NORMATIVA DEL HORMIGON ARMADO DESDE 1960 HASTA 2000

A.1. Introducción

En este *Anexo* se realiza un recorrido, por orden cronológico, por las diferentes normativas del hormigón que han sido redactadas en España desde los años 60 hasta entrado el 2007. En este recorrido se analizan las diferencias entre ellas, centrándose en las cualidades que definen la calidad de la ejecución del hormigón armado como, por ejemplo: los materiales que lo componen, la durabilidad del hormigón, su control de calidad y su ejecución.

Para ello, se va a estudiar el tratamiento dado por las diferentes normas a las siguientes variables:

- Materiales constituyentes del hormigón: cemento, agua, áridos y acero (también aditivos y adiciones)
- Cualidades, dosificación y fabricación del hormigón armado
- Colocación, distancia entre barras y recubrimiento de las mismas
- Tipos de ambiente
- Control de la ejecución y puesta en obra del hormigón armado
- Control de calidad y ensayos a realizar en la puesta en obra del hormigón armado.

A.2. Breve introducción a la Normativa anterior a los años 60

Desde un primer momento, en Alemania se empezó a estudiar el comportamiento del hormigón armado y se regularizó tanto su uso como el cálculo de los diferentes elementos estructurales compuestos de hormigón. Aunque la aportación científica vino principalmente de Alemania, Francia contribuyó al avance a través de la primera normativa francesa, redactada por Edmond Coignet y Considère (*Marco 2012*).

En España la primera norma que englobó las estructuras de hormigón fue la Instrucción para el Proyecto y Ejecución de Obras de Hormigón HA-39 (*Orden de 3 de febrero de 1939*). Un año antes de terminar el conflicto bélico que azotó en España a finales de los años 30, se empezaron los contactos para formar una comisión que se encargara de la redacción de una primera normativa que reflejara aspectos del hormigón, de su ejecución, cálculo y puesta en obra. Estos contactos dieron con la publicación por parte del Ministerio de Obras Públicas, de

la primera Instrucción de Hormigón armado para Obras Públicas, el 3 de febrero de 1939. Esta Norma sólo era de obligado cumplimiento para obra civil.

En 1941 se publicó por parte de la Dirección General de Arquitectura la “Norma para el Cálculo y Ejecución de las Obras de Hormigón Armado” (*D.G.A. 1941*) que profundizaba en temas característicos de las obras de edificación. Esta normativa es importante porque desde su publicación en 1941 era de obligado cumplimiento para obra de edificación.

Las características principales de esta norma en cuanto a la fabricación del hormigón armado eran (*D.G.A.1941*):

- En la dosificación del hormigón, la norma proponía en una tabla, la cantidad de cemento y agua para conseguir la resistencia especificada en el proyecto. En este caso, la mínima relación agua/cemento que proponía la Instrucción era de 0,525 (*D.G.A. 1941*)
- Para el hormigón armado, fijaba un máximo contenido de cemento de 400 kg y un mínimo de 250 kg por cada m³.
- Diferenciaba la consistencia del hormigón en seca, plástica, blanda o fluida. Únicamente para las consistencia seca o plástica aludía al picado con barra para conseguir la compactación del hormigón en las consistencias seca y plástica
- Se penalizaba la resistencia del acero en función de la resistencia del hormigón en dos intervalos, uno para hormigones de resistencia entre 120 y 160 kg/cm² y otro para mayores de 160 kg/cm².
- La norma no disponía específicamente una diferenciación en tipos de ambiente para las estructuras. Únicamente se tenía en cuenta el aumento del recubrimiento en zonas húmedas
- Se hacía referencia al curado del hormigón, aunque no se proponía el modo de realizarlo. Únicamente se especificaba que se debía mantener la superficie del hormigón húmeda.

La siguiente normativa de obligado cumplimiento, sobre el hormigón armado, fue la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado, la HA-68 (*B.O.E. 290/1968*). Anteriormente, entre 1957 y 1961 el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento publicó la Instrucción Especial para Estructuras de Hormigón Armado HA-61 (*I.E.T.C.C. 1961*), para cálculo y ejecución de obras de hormigón armado, que fue bastante utilizada por los ingenieros estructurales, aunque nunca fue de obligado cumplimiento (*Marco 2012*).

A.3. La década de los 60. Instrucción Especial para Estructuras de Hormigón Armado HA-61

Como hemos comentado anteriormente, el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento publicó la Instrucción Especial para Estructuras de Hormigón Armado (*I.E.T.C.C. 1961*).

Constaba de tres partes, la primera dedicada a los materiales y a la ejecución, la segunda describía los documentos que debían formar parte de un proyecto y la tercera dedicada al cálculo y detalles constructivos.

Esta norma introdujo bastantes modificaciones con respecto a la normativa anterior. De entre las más importantes modificaciones se encuentra (*Marco 2012*):

- Cambios en las exigencias de propiedades mecánicas del hormigón (resistencia característica a compresión, resistencia a cortante, definición del módulo de deformación, etc.).
- Coeficientes de seguridad
- Bases y métodos de cálculo de secciones
- Cálculo de tensiones tangenciales
- Armaduras: colocación, recubrimientos, anclajes y empalmes.
- Compactación, transporte, vertido, dosificación y amasado.
- Control previo de la dosificación
- Control de la resistencia característica del hormigón y control de la consistencia.

A.3.1. Materiales

En cuanto al cemento, la norma hace referencia al Fomento de la Normalización de la Calidad en los Conglomerantes Hidráulicos (*B.O.E. 163/1964*). La única limitación que se disponía era que el cemento no podía ser de categoría inferior a 250 (P-250).

En relación con el agua a usar para la fabricación de hormigón, no se hacía referencia a agua potable como en las anteriores normativas, sino de agua aceptable:

“En general, podrán ser utilizadas tanto para el amasado como para el curado, todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica.”

Por ello, los antecedentes del agua para la fabricación de hormigón armado eran muy importantes. Cuando no había antecedentes de su utilización anterior, se daban unos criterios de rechazo:

“Cuando no existan antecedentes de su utilización, deberán rechazarse aquellas que tengan

un pH menor de 5, la que posea un total de sustancias disueltas mayor de 15 gramos por litro, las que el contenido de anhídrido sulfúrico rebase el gramo por litro o las que contengan cloruros en un porcentaje mayor de 6 gramos por litro(...), las que tengan presencia de hidratos de carbono y las que tengan sustancias orgánicas solubles mayor de 15 gramos por litro.”

Una de las diferencias con la norma anterior es la aparición de los productos de adición:

“Podrán autorizarse el empleo de todo tipo de productos de adición siempre que se justifique, mediante ensayos que la sustancia agregada produce el efecto deseado sin perturbar excesivamente las restantes características del hormigón ni representar un peligro para las armaduras”.

En cuanto al acero usado para las armaduras en el hormigón armado, la HA-61 distinguía entre armaduras lisas de acero ordinario y armaduras de alta adherencia de acero especial. Para las armaduras de alta adherencia, disponía unas características que debían cumplir. Una de ellas era que se certificara mediante ensayo la condición de alta adherencia.

A.3.2. Cualidades, dosificación y fabricación del hormigón

La HA-61 fue la primera norma donde se define el concepto de resistencia característica del hormigón. La definición correspondía a la media aritmética de las resistencias de las $n/2$ probetas más bajas:

“(...) El valor que se obtiene, a partir de una serie de n ensayos de resistencia sobre probetas y rotas por compresión a los 28 días, al multiplicar por 2 la media aritmética de los $n/2$ resultados más bajos”

Para la norma HA-61, el valor mínimo de la resistencia en el hormigón armado, dependía del tipo de acero utilizado; siendo 130 kg/cm^2 para hormigón armado realizado con aceros lisos y 170 kg/cm^2 para los que utilizaban acero de alta adherencia.

Así mismo, definía lo que era el módulo de deformación, en función de la resistencia a compresión del hormigón. En la anterior normativa, no estaba contemplado, debido a que este módulo de deformación no era necesario para el modelo de cálculo contemplado en esta anterior normativa.

El contenido mínimo de cemento se fijaba en 250 kg/m^3 para estructuras a la intemperie. No obstante, seguía manteniendo los 450 kg/m^3 como contenido máximo de cemento.

La norma HA-61 proponía corregir los resultados de las tablas por medio de ensayos. Una diferencia substancial con la normativa anterior donde no proponía controlar la dosificación si

no se han utilizado métodos empíricos.

La norma HA-61 sigue manteniendo los tipos de hormigón de la anterior normativa, aunque prohíbe el uso de hormigones de consistencia líquida. Aconseja la utilización de la blanda y fluida, para la compactación a base de picado con barra. También menciona el uso de vibradores para conseguir la compactación necesaria.

A.3.3. Recubrimientos de armadura

Una de las modificaciones importantes entre la normativa HA-61 y las anteriores normas, consiste en que se produce una primera distinción entre armaduras sometidas a tracción y a compresión, siendo más exigentes los recubrimientos para estas últimas. También distinguía si la estructura se encontraba en el exterior o el interior del edificio. Los recubrimientos mínimos no eran fijas como en la normativa anterior y en las posteriores EH-68 (*B.O.E. 290/1968*) y EH-73 (*B.O.E. 293/1973*), sino que se fijaba a partir del diámetro de la barra. En este sentido, los recubrimientos mínimos eran:

- 1,5 veces el diámetro para barras sometidas a compresión.
- 1 vez el diámetro para barras sometidas a tracción.
- 1,5 cm.

Con respecto a las separaciones entre barras, éstas se establecían dependiendo del diámetro mayor de las mismas y del tamaño máximo del árido. También tenía en cuenta la solicitación a la que estaba sometida la pieza en donde se colocaba la armadura.

A.3.4. Tipo de Ambiente y durabilidad

La norma HA-61 no contemplaba un apartado específico para el tipo de ambiente. No obstante existía la diferenciación entre interior de edificios e intemperie (expuestas a zonas húmedas) en el apartado para el recubrimiento de las armaduras.

La durabilidad del hormigón, se consideraba como un factor importante a tener en cuenta en la ejecución de las estructuras. Recomendaba prestar atención a los recubrimientos de las armaduras para controlar la corrosión de las mismas.

A.3.5. Control de la ejecución, puesta en obra y curado

A diferencia de la instrucción anterior, no se hacía mención al amasado manual para obras de hormigón armado. El amasado se debía realizar de manera que se consiguiera una mezcla íntima y homogénea, preferentemente por hormigonera.

Con respecto al tiempo de amasado, la norma HA-61 lo elevaba a 2 ó 3 minutos para

hormigones vibrados. Se recomendaba el vibrado para compactar el hormigón sobre todo en la consistencia seca.

La norma HA-61 establecía un período de curado mínimo en función de la velocidad de endurecimiento del cemento, pudiéndose duplicar el tiempo si el ambiente era seco. Como mínimo se recomendaban 7 días de curado:

“Deberá asegurar el mantenimiento de la humedad del mismo. Podrá realizarse manteniendo húmedas las superficies del hormigón mediante riego directo.”

Aunque el párrafo anterior habla del procedimiento de riego para el curado, la norma permitía sustituirlo por una protección de la superficie mediante recubrimientos plásticos o tratamientos adecuados.

En cuanto a los ensayos, la norma HA-61 insistía en que antes de comenzar con la ejecución se comprobara que la dosificación propuesta cumplía con los requisitos especificados en el pliego de condiciones particulares. Durante la ejecución de la obra, aconsejaba los ensayos de control de obra, comprobando la calidad del hormigón mediante probetas cilíndricas que se rompían a los 28 días.

A.4. La crisis del año 1973. Las instrucciones para el hormigón armado HA-68 y la EH-73

El 20 de septiembre de 1968 se aprobó la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado (*B.O.E. 290/1968*), conocida como la HA-68. Esta normativa mantenía los mismos criterios que la norma anterior, HA-61. No obstante, sí que era de obligado cumplimiento. Cabe destacar que siguió permitiéndose que se utilizara, para el cálculo y la ejecución del hormigón armado, normativas anteriores a la HA-68.

Mientras que la recién creada Comisión Permanente del Hormigón evaluaba el impacto y realizaba estudios sobre grado de implantación de la norma HA-68, a finales de 1973, en concreto el 19 de octubre, se publicó la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras en Masa y Armado, (*B.O.E. 293/1973*) conocida como la EH-73. Esta norma derogó las normativas anteriores (la HA-68 y la HA-61).

La norma HA-68 seguía manteniendo el mismo sistema normativo que la anterior, la HA-61. No obstante, existen algunos cambios con respecto a esta última, en temas como por ejemplo, las propiedades del hormigón, los grados de exposición al ambiente de las obras, el control de la resistencia característica del hormigón y el control de la consistencia.

Con respecto a la HA-68, la norma EH-73 no presentaba grandes modificaciones en la

dosificación y ejecución del hormigón armado. Las más importantes son las que afectan al control de materiales y ejecución, así como la introducción de las precauciones para hormigonado en tiempo caluroso. Uno de los cambios más significativos en esta norma fue la introducción de un nuevo método de cálculo en rotura (estado límite), aunque, no está contemplado en este trabajo.

A.4.1. Materiales

Con respecto al cemento, el agua, los áridos y los aditivos no existían en estas normas cambios sustanciales en relación a la normativa anterior. Las nomenclaturas del cemento en estas normativas vienen recogidas en la Instrucción para el Fomento de la Normalización de la Calidad en los Conglomerantes Hidráulicos (B.O.E. 163/1964).

La norma EH-73, ya hablaba de barras corrugadas (barras de alta adherencia en las anteriores instrucciones):

“Las barras corrugadas a los efectos de esta instrucción son las que presentan, en el ensayo de adherencia por flexión descrito en el anejo 5, una tensión media de adherencia ζ_{bm} y una tensión de rotura de adherencia ζ_{bu} que cumplen simultáneamente las dos condiciones siguientes, válidas para $\varnothing \leq 32\text{mm}$:

- $\zeta_{bm} \geq 80 - 1,2\varnothing$
- $\zeta_{bu} \geq 130 - 1,9\varnothing$ ”

Reducía el límite elástico para barras lisas a 2.200 kg/cm^2 y aumentaba el de los aceros corrugados a 4.200 kg/cm^2 . Así mismo, se disponía que las armaduras de alta adherencia debieran de cumplir la condición de alta adherencia que venía determinado por el ensayo de arrancamiento descrito en su anejo 6 (B.O.E. 293/1973), tal y como también había sido reflejado en la norma HA-61. Además, esta normativa EH-73 presentaba unas prescripciones con las características mecánicas mínimas que había de garantizar el fabricante

A.4.2. Cualidades, dosificación y fabricación del hormigón

En relación a la resistencia característica del hormigón, la instrucción HA-68 mantenía el mismo postulado que la norma HA-61. En la Norma EH-73 se definía la resistencia característica f_{ck} , del hormigón como:

“aquel valor que presenta un grado de confianza del 95 % en las probetas ensayadas a comprensión a los 28 días. Esto es que existe un porcentaje del 95 % de que las probetas presenten un valor mayor a este.”

La norma HA-68 reflejaba un valor mínimo para la resistencia característica de 60 kg/cm^2

para hormigones en masa, y de 120 kg/cm² para hormigones armados. En la EH-73 no existían variaciones sustanciales en estos valores, siendo 50 kp/cm² para hormigones en masa y 125 kp/cm² para hormigones armados.

Las normativas HA-68 y EH-73 mantenían el mismo método de dosificación que la HA-61. Ambas incluían, en los anejos, tablas en las que se determinan las cantidades de cada elemento en función de su resistencia característica, tipo y tamaño máximo de árido, así como del tipo de cemento y grado de compactación (Tablas A.1 y A.2).

Tabla A.1.

Dosificación del hormigón para tipo de cemento P-350 y árido rodado, adaptada de la HA-68

Resistencia característica en obra (MPa)	Consistencia adecuada para vibrar (en kg y litros)				Consistencia adecuada para picar con barra (en kg y litros)			
	Cemento	Agua	Arena	Grava	Cemento	Agua	Arena	Grava
Tamaño máximo del árido: 20 mm								
6	200	180	690	1.380	230	205	660	1.320
9	240	180	680	1.360	280	205	645	1.290
12	290	180	670	1.340	330	205	630	1.260
15	330	180	655	1.310	370	205	615	1.230
18	370	180	645	1.290	--	--	--	--
Tamaño máximo del árido: 40 mm								
6	175	160	715	1.430	200	185	685	1.370
9	220	160	700	1.400	250	185	670	1.340
12	250	160	690	1.380	290	185	655	1.310
15	290	160	680	1.360	340	185	645	1.290
18	330	160	670	1.340	380	185	630	1.260

Las cantidades mínimas de cemento por metro cúbico cambiaban con respecto a la norma HA-61: 150 kg/m³ para hormigón en masa, 200 kg/m³ para hormigones ligeramente armados y 250 kg/m³ para hormigón armado. En relación al contenido máximo de cemento se disponía que fuera 400 kg/m³, inferior con respecto al de la HA-61.

En relación a la consistencia del hormigón armado, la norma HA-68 prohibía el uso de hormigones de consistencia fluida y recomendaba el uso de hormigones de consistencia seca, plástica u otra consistencia que estuviera entre éstas. En cambio, en la norma EH-73 no se prohibía expresamente el uso de consistencia fluida, aunque se desaconsejaba su uso. La norma EH-73 prohibía expresamente el uso de consistencia líquida. Esta norma recomendaba el uso de consistencia plástica compactada por vibrado.

Las dos instrucciones reflejaban que se usase los procedimientos descritos en las normas UNE 7102 y 7103, en este caso el ensayo del cono de Abrams, para poder realizar la valoración de

la consistencia. La EH-73 además, disponía de una tabla con las consistencias dependiendo del asiento en centímetros en el ensayo del cono de Abrams.

Tabla A.2.

Dosificación del hormigón para tipo de cemento P-350 y árido machacado, adaptada de la HA-68

Resistencia característica en obra (MPa)	Consistencia adecuada para vibrar (en kg y litros)				Consistencia adecuada para picar con barra (en kg y litros)			
	Cemento	Agua	Arena	Grava	Cemento	Agua	Arena	Grava
Tamaño máximo del árido: 20 mm								
6	175	200	680	1.360	200	225	650	1.300
9	210	200	670	1.340	230	225	640	1.280
12	240	200	660	1.320	270	225	630	1.260
15	270	200	650	1.300	310	225	620	1.240
18	300	200	640	1.280	340	225	610	1.220
Tamaño máximo del árido: 40 mm								
6	160	180	700	1.400	180	205	675	1.350
9	190	180	695	1.390	210	205	665	1.330
12	220	180	685	1.370	250	205	655	1.310
15	245	180	675	1.350	280	205	645	1.290
18	270	180	670	1.340	310	205	635	1.270
Tamaño máximo del árido: 80 mm								
6	//	//	//	//	160	185	695	1.390
9	165	160	715	1.430	190	185	690	1.380
12	190	160	710	1.420	220	185	680	1.360
15	220	160	700	1.400	250	185	670	1.340
18	240	160	695	1.390	280	185	665	1.330

A.4.3. Recubrimientos de armadura

Con respecto a la colocación de las armaduras, las normativas HA-68 y EH-73 seguían los mismos criterios que las normativas anteriores. No obstante el recubrimiento era independiente del diámetro, como en la anterior normativa, la HA-41. En la EH-68, en su artículo 13.3 decía:

“13.3 Distancia a los paramentos:

- a) *Cuando se trate de armaduras principales, la distancia libre entre cualquier punto de la superficie lateral de una barra y el paramento más próximo de la pieza será igual o superior al diámetro de dicha barra.*
- b) *En las estructuras NO EXPUESTAS a ambientes agresivos, dicha distancia será, además, igual o superior a:*

- 1 cm, si los paramentos están protegidos

- 2 cm si los paramentos de la pieza va a estar expuestos a la intemperie o a condensaciones o si van a estar en contacto permanente con el agua.

- 2 cm en las partes curvas de la barra.

- c) En estructuras expuestas a ambientes químicamente agresivos, el recubrimiento vendrá fijado por el proyectista*
- d) La máxima distancia libre admisible entre armaduras exteriores y las paredes del encofrado es de 4 cm.”*

En la revisión de este artículo que hacía la EH-73 en el apartado d disponía, además de lo comentado, lo siguiente:

“La máxima distancia libre entre armaduras exteriores y las paredes del encofrado será de 4 cm, pudiendo prescindirse de esta limitación en elementos enterrados o en los hormigonados con técnicas especiales.”

La norma EH-73 introdujo modificaciones en las longitudes de anclaje, algunas de las cuales persisten hasta nuestros días, como por ejemplo: el concepto de la longitud neta, la posición de la barra para calcular l longitud de anclaje, si está en posición favorable o desfavorable, la longitud mínima (10 veces el diámetro, 15 cm o 1/3 longitud de anclaje) y el incremento de la longitud de anclaje $10 \varnothing$ si existe efectos dinámicos (Marco 2012)

A.4.4. Tipo de Ambiente y durabilidad

Las normativas HA-68 y EH-73 disponían de apartados dedicados a la durabilidad del hormigón y la corrosión de las armaduras, aunque no definían el tipo de ambiente ni definía el concepto de “agresiones del hormigón”:

“Por lo que respecta a la durabilidad del hormigón, deberá elegirse cuidadosamente en el proyecto el tipo, clase y categoría de conglomerante que haya de ser empleado, según las características de la obra y la naturaleza de las acciones o ataques que sean de prever en cada caso.”

La norma HA-68 dejaba a criterio del proyectista asumir las características necesarias si el ambiente era agresivo. No obstante recomendaba prestar especial atención a los recubrimientos en el caso de corrosión de armaduras:

“En el hormigón se tendrá en cuenta no sólo la durabilidad del hormigón frente a las acciones físicas y al ataque químico, sino también a la corrosión que puede afectar a las armaduras metálicas, debiéndose, por tanto, prestar especial atención a los recubrimientos de las armaduras principales y estribos.”

En el artículo 22 hacía mención en los casos de ataque químico y posibilidades de corrosión, aunque no dispone de prescripciones para conseguir este tipo de hormigones ni las características que deben tener:

“En estos casos, los hormigones deberán ser homogéneos, compactos e impermeables”.

También se refería al empleo de aditivos para conseguir que el hormigón sea más homogéneo:

“Para conseguir una mayor homogeneidad, compacidad e impermeabilidad del hormigón, se autoriza el empleo de aditivos adecuados, que deberán cumplir las prescripciones del artículo octavo de la Instrucción”

En la Instrucción EH-73 se añadía un párrafo en el artículo 22.2 Durabilidad del Hormigón:

“Con independencia de las precauciones señaladas, que tienen un carácter marcadamente preventivo, deberán adoptarse medidas especiales de protección del hormigón ya endurecido, mediante revestimientos o tratamientos superficiales adecuados, en función de la naturaleza e intensidad de las acciones nocivas actuantes”

Estas normativas dedicaban un apartado a la corrosión de las armaduras:

“Por lo que respecta a la corrosión de las armaduras, en la fabricación de los hormigones armados se proscriben el empleo de materiales capaces de aportar sales solubles al hormigón. Además, se utilizará tan sólo conglomerantes de gran estabilidad de volumen, con objeto de reducir el peligro de fisuración”

Como en la anterior norma, la EH-73 instaba a prestar atención a los recubrimientos de las armaduras para controlar la corrosión de las mismas.

No obstante, esta norma EH-73 seguía dejando a criterio del proyectista el hecho de decidir si la zona costera es ambiente agresivo, así como las protecciones que debe tener la estructura en este tipo de ambiente.

A.4.5. Control de la ejecución, puesta en obra y curado

Las normas EH-68 y EH-73 seguían manteniendo el mismo método de medición que la HA-61: la medición del cemento siempre se debía hacer en peso, pero aceptaba la medición de los áridos en volumen, siempre que se controlara la humedad que contenían. La HA-68 introducía el control preceptivo antes de empezar la ejecución:

“Independientemente de otros ensayos que puedan prescribirse en el pliego de prescripciones técnicas particulares, los ensayos de resistencia del hormigón previstos en esta instrucción

son los siguientes:

- *Ensayos previos*
- *Ensayos característicos*
- *Ensayos de control*
- *Ensayos de información.”*

Los ensayos previos se realizaban para controlar la dosificación del hormigón y si alcanzaba la resistencia requerida. Estos ensayos se efectuaban en laboratorio antes del comienzo de las obras. Aunque la norma decía que eran de obligado cumplimiento, permitía que si el constructor tuviera suficiente experiencia con esa dosificación, no tuviera que realizarlos.

Los ensayos característicos, se realizaban para obtener la resistencia característica del hormigón. Se efectuaban en obra, antes de hormigonar. Eran preceptivos en todos los casos, salvo que el pliego de condiciones técnicas particulares de la obra indicara lo contrario.

Los ensayos de control se realizaban sobre probetas ejecutadas y conservadas en obra. Su objeto era comprobar que la resistencia del hormigón continuaba siendo igual o superior a la exigida.

Los ensayos de información sólo eran preceptivos en casos concretos que no eran usuales en las edificaciones residenciales.

Es interesante comprobar, que en los comentarios a la Instrucción HA-68 exigía una resistencia media en el laboratorio dependiendo de las condiciones de ejecución de la obra. Para ello, las condiciones previstas para la ejecución de la obra se describían como medias, buenas o muy buenas.

La norma EH-73 cambió con respecto a la pauta seguida en las anteriores normativas, dándole mayor importancia al control de la obra. Disponía de un capítulo aparte para este control: Capítulo IX”Control de materiales”. Seguía manteniendo los mismos ensayos que se especificaban en la EH-68. De los cuatro ensayos descritos anteriormente, los característicos y los de control eran preceptivos en cualquier caso. Por el contrario, podrían no ser necesario los ensayos previos dependiendo de las características de la obra, y si el constructor tenía experiencia con la dosificación, tal y como ocurría en la EH-68.

A.5. Los Años 80. Las Instrucciones para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado: EH-80/82 y EH-88

El 17 de Octubre de 1980 se aprobó la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución del Hormigón en Masa o Armado EH-80 (*B.O.E. 9/1981*). Esta nueva norma seguía las

prescripciones de anterior normativa la EH-73, dando importancia al control de calidad de la obra. Así mismo, se incluyeron capítulos importantes sobre todo en el tema del proyecto y el control de calidad (*García 1989*). Dos años después, se aprobaron varias modificaciones a la EH-80, recopilándose posteriormente, el 24 de Julio de 1982, en lo que se denominó la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución del Hormigón en Masa o Armado EH-82 (*B.O.E. 219/1982*).

Pasados 6 años se volvió a realizar una modificación de la normativa, dado que se disponían de dos instrucciones para el hormigón, la aludida EH-82 y la Instrucción para el Hormigón Preparado, la EHPRE-72 (*B.O.E. 113/1972*). Esta dualidad complicaba mucho el seguimiento normativo. Así mismo, y por recomendación del Comité Euro internacional del Hormigón, se incluyeron varios apartados que contenían las pesquisas del C.E.B. en cuanto a la ejecución del hormigón armado (*García 1989*).

Por otra parte, la importancia que estaban teniendo los forjados unidireccionales de hormigón armado o pretensado en la construcción y sobre todo en edificación, produjo que se creara una nueva norma para la ejecución de este tipo de forjados, la Instrucción para la Ejecución de Forjados Unidireccionales de Hormigón Armado o Pretensado EF-88 (*B.O.E. 180/1988*) y, en consecuencia, adaptar los artículos de la EH-88 (*B.O.E. 180/1988*) para la inserción de esta tipología de forjados.

A.5.1. Materiales

En relación al cemento, la norma EH-80 remitía al Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos RC-75 (*B.O.E. 265/1975*). El cemento no podía tener una resistencia inferior a 250 kp/cm² y en los documentos de origen debía figurar el tipo, clase y categoría del mismo, así como una garantía del fabricante de que cumplía las condiciones exigidas.

En la norma EH-88, se contemplaba, además, que se podía utilizar cualquier cemento de la CEE, que estuvieran conforme a las especificaciones en vigor en los Estados de Europa, y que tuvieran un nivel de seguridad equivalente al que exigía la Reglamentación Española.

En relación al agua que se utilizaba, se permitía el uso de aquellas que fueran sancionadas como aceptables en la práctica, con las mismas limitaciones en cuanto a elementos nocivos que las normas anteriores.

Cabe destacar los comentarios de la Instrucción que hace la Comisión Permanente del Hormigón acerca de este apartado y del uso de agua de mar:

“Resulta más perjudicial para el hormigón utilizar aguas no adecuadas en su curado que en

su amasado. Por ello puede usarse agua de mar para amasar hormigones que no vayan a llevar armaduras a costa de una disminución de la resistencia (...) La limitación del contenido máximo de cloruros expresados en ión cloro es una medida preventiva contra acciones corrosivas sobre las armaduras que pueden producir mermas en la sección de estas, fisuraciones y disminución de adherencia (...) Efectivamente, parece comprobado que la utilización del agua de mar reduce la resistencia del hormigón en un 15%”

En cuanto a los otros componentes del hormigón armado, a diferencia de las anteriores normativas, la norma EH-88, además de especificar los aditivos, define las adiciones al hormigón. En la norma habla específicamente de cenizas volantes como adiciones en el momento de fabricación del hormigón.

Al contrario que la anterior, la norma EH-80 prohibía específicamente el uso de alambres lisos trefilados como armaduras para el hormigón armado, excepto como componentes de mallas electrosoldadas. En relación a las armaduras lisas, la EH-80 no variaba con respecto a la EH-73. En cuanto a las armaduras corrugadas, se producía un cambio en su nomenclatura y en los límites elásticos f_y y la carga unitaria de rotura, así como en el alargamiento de rotura. También daba unas limitaciones de las tensiones media de adherencia y de rotura de adherencia para diámetros mayores de 32, que en las Instrucciones anteriores no disponían, sino que se tenían que realizar ensayos para este tipo de diámetros. No obstante el diámetro del 32 no se utilizaba en edificación.

A.5.2. Cualidades, dosificación y fabricación del hormigón

Las Instrucciones EH-80 y EH-88 definían un apartado para la composición del hormigón. Este apartado específico instaba al estudio de la composición elegida, para que se proporcionara las características mecánicas y de durabilidad que exigía el proyecto.

La norma EH-88, además, exigía que el contenido de ión cloro aportado por los componentes no excediera del 0,4% del peso del cemento cuando se trate de obras de hormigón armado. Esta exigencia se ha mantenido hasta normativa actual.

Así mismo, las normas EH-80 y EH-88 dotaban de una importancia significativa a las características mecánicas del hormigón, aglutinando el articulado disperso en las anteriores normativas. Además se proporcionaban nuevas características del hormigón que anteriormente no estaban normalizadas, como son la retracción y la fluencia del hormigón.

La norma EH-80 definía lo que se conocía como resistencia de proyecto f_{ck} que era el valor que se adoptaba en proyecto para la resistencia a compresión. También definía la resistencia característica real $f_{c,real}$ al cuantil del 5% de la distribución de resistencia a compresión del hormigón usado. Además definía la resistencia característica estimada f_{est} , como el valor que

estima o cuantifica la resistencia característica real de obra a partir de un número finito de resultados de resistencia a compresión, dando una fórmula para calcularla dependiendo del nivel de ensayos que tuviera la obra.

En cuanto al valor mínimo de la resistencia, a diferencia de las anteriores normativas, éste se asociaba a la resistencia del acero. El valor mínimo de la resistencia para hormigones armados se sitúa en 125 kp/cm^2

En las normas EH-80 y EH-88 se mantenían las diferentes consistencias del hormigón especificadas en las anteriores normativas. La EH-80 prohibía el uso de hormigones de consistencia fluida y líquida. Recomendaba el uso de hormigones de consistencia plástica, compactados con vibrado. Estaba permitido el uso de empleo de aditivos para conseguir consistencia fluida o líquida:

“Se exceptúa de lo anterior el caso de hormigones fluidificados por medio de uso de superplastificantes.”

En la norma EH-80 todavía mantenía el picado con barra como método de vibrado manual, para hormigones de consistencia fluida.

A.5.3. Recubrimientos de armadura

La norma EH-80 introdujo el concepto de agua de mar como ambiente agresivo. En el artículo 13.3 de distancia a paramentos, además incluye el tamaño máximo del árido para calcular el recubrimiento:

13.3 Distancia a paramentos:

- a) *Cuando se trata de armaduras principales, la distancia libre entre cualquier punto de la superficie lateral de una barra y el paramento más próximo de la pieza será igual o superior al diámetro de dicha barra y a los tres cuartos del tamaño máximo del árido.*
- b) *Para cualquier clase de armadura (incluido los estribos), la distancia mencionada en el párrafo anterior no será inferior a los valores siguientes:*

Paramentos revestidos o ambientes protegidos, 15 milímetros.

Intemperie o ambientes en los que resulten frecuentes las condensaciones (cocinas, cuartos de baño, etc) o si van a estar en contacto permanente con el agua (depósitos, tuberías, etc) 20 milímetros.

- c) *En estructuras prefabricadas bajo control riguroso y siempre que la resistencia característica del hormigón sea mayor que 259 kp/cm^2 , podrá omitirse la limitación del párrafo a) relativa al tamaño máximo del árido y reducirse en 5 mm los valores del párrafo b)*
- d) *En estructuras expuestas a ambientes Químicamente agresivos, el recubrimiento*

vendrá fijado por el proyectista.

- e) *La distancia libre entre las armaduras exteriores y las paredes del encofrado no será mayor de 4 cm, pudiéndose prescindir de esta limitación en elementos enterrados, si se hace previamente una capa de regularización, en los hormigonados con técnicas especiales y en aquellos en los que la armadura trabaje exclusivamente a compresión*

En la norma EH-88 se aumentaron los recubrimientos mínimos, por razones de protección de las barras frente a la corrosión. Los recubrimientos especificados en la EH-80, esto es: 15 mm y 20 mm, se aumentan hasta 20 mm y 30 mm respectivamente. También aparece el límite de 40 mm para el caso de atmósferas agresivas.

A.5.4. Tipo de Ambiente y durabilidad

La norma EH-80 en cuanto al tipo de ambiente, incluía el agua de mar como ambiente agresivo En los comentarios:

“Por lo que respecta a ambientes químicamente agresivos, conviene recordar que las aguas muy puras, las sulfatadas y las de mar, entre otras, poseen ese carácter en mayor o menor grado.”

En referencia a las características del hormigón para este ambiente agresivo, los comentarios de este artículo hacen una referencia imprecisa:

“Debe tenerse en cuenta que la mejor protección para las armaduras es un hormigón de buena resistencia y compacidad. Estas cualidades juegan un papel mucho más importante que el simple espesor del recubrimiento, por grande que éste sea.”

Aunque sigue dejando a criterio del proyectista las medidas necesarias en cuanto a compacidad, resistencia del hormigón y recubrimiento en ambientes agresivos.

La norma EH-88 constituyó una revolución en cuanto a ambientes se refiere distinguiendo tres tipos de ambiente (Tabla. A.3):

- *“Ambiente I: Estructuras en interiores de edificios o medios exteriores de baja humedad (no se sobrepasa el 60 % de la humedad relativa más de 90 días al año), con un recubrimiento mínimo de 20 mm*
- *Ambiente II: Estructuras en exteriores normales (no agresivos) o en contacto con aguas normales o terreno ordinario. Recubrimiento mínimo 30 mm*
- *Ambiente III: Estructuras en atmósfera agresiva industrial o marina o en contacto con terrenos agresivos o con aguas salinas o ligeramente ácidas. Recubrimiento mínimo 40 mm*

Estos valores pueden disminuirse 5 mm en piezas protegidas y prefabricadas o en hormigones con una resistencia característica f_{ck} entre 250 y 450 kp/cm². Se disminuirá 10 mm para hormigones f_{ck} mayores de 450 kg/cm².

En ningún caso resultarán recubrimientos inferiores a 15, 20 o 25 mm para los ambientes I, II y III.

Tabla A.3.

Recubrimientos mínimos (en mm), según las condiciones ambientales de la estructura adaptada de la norma EH-88 (Art. 13.3)

Condiciones ambientales de la estructura	Elementos en general (MPa)			Paramentos protegidos y piezas prefabricadas (MPa)		
	$f_{ck} < 25$	$25 \leq f_{ck} < 40$	$f_{ck} \geq 40$	$f_{ck} < 25$	$25 \leq f_{ck} < 40$	$f_{ck} \geq 40$
I. Interior de edificios. Exteriores de baja humedad	20	15	15	15	15	15
II. Exteriores normales. Contacto con aguas normales	30	25	20	25	20	20
III. Atmósfera marina o industrial. - Contacto con el terreno. - Contacto con aguas salinas o ligeramente ácidas	40	35	30	35	30	25

En el apartado 24.3 de la norma EH-80, se hablaba de la corrosión de las armaduras. Este apartado presentaba modificaciones importantes con respecto a anteriores normativas:

“Es necesario considerar desde el proyecto el grado de agresividad que presenta para las armaduras el medio ambiente donde vaya a estar situada la obra. (...)

En la fase de proyecto de la estructura se deben tener en cuenta todas las consideraciones que se hacen respecto de distancias a los paramentos y el riesgo de corrosión por fisuración en fase de servicio”

En el apartado 24.4 de la norma EH-88, que en las anteriores normativas (la EH-80 y su modificación, la EH-82) no existía, se establecían unos valores máximos para la relación agua/cemento (A/C) y otros mínimos para el contenido en cemento, en función del ambiente que rodea a la estructura. La relación agua/cemento no podía superar un 0,65 en el caso menos exigente y en el más exigente un 0,50, esté o no armado el hormigón. En cuanto a contenidos mínimos de cemento, oscilan entre 250 y 325 kg/m³ para los elementos de hormigón armado y entre 150 y 200 kg/m³ para los hormigones en masa.

Estas limitaciones venían directamente de las Instrucciones y normativas europeas, sobre todo

de las recomendaciones que hacía el C.E.B. para ambientes agresivos (García 1989).

Tabla A.4.

Relación máxima agua/cemento y el contenido mínimo en cemento según las condiciones ambientales de la estructura adaptada de la norma EH-88 (Art. 24.4)

Condiciones ambientales de la estructura	Relación agua/cemento	Contenido mínimo en cemento en Kg/m ³	
		Hormigón en masa	Hormigón armado
I. Interior de edificios. Exteriores de baja humedad	0,65	150	250
II. Exteriores normales. Contacto con aguas normales	0,60	175	275
II _h : con existencia de heladas	0,55	175	300
II _f : existencia de fundentes	0,50	200	300
III. Atmósfera marina o industrial.	0,55	200	300
III _h : con existencia de heladas	0,50	200	300
III _f : existencia de fundentes	0,50	200	325
Químicamente agresivo	0,50	200	325

A.5.5. Control de la ejecución, puesta en obra y curado

Con respecto a este apartado, la norma EH-88 experimentó una profunda modificación, ya que incorporó al articulado, la Instrucción para la Fabricación y Suministro de Hormigón Preparado (EHPRE) (B.O.E. 113/1972). El artículo para “la fabricación y puesta en obra del hormigón (Art. 15)”, se dividía en tres apartados: uno de prescripciones generales, otro para el hormigón fabricado en central y otro para el no fabricado en central. Cabe señalar que en los comentarios realizados por la Comisión, se desaconsejaba el uso de del hormigón no fabricado en central.

En el apartado para el hormigón fabricado en central, se disponía un subapartado específico para el hormigón preparado y se refería al caso de hormigón preparado en central independiente de la obra (García 1989). Los aspectos de mayor interés de estas modificaciones eran:

- Se exigía que hubiera en cada central dos responsables diferentes. Esto suponía un avance en la garantía de calidad del producto, sobre todo en los fabricados en centrales a pie de obra.
- Se diferenciaba entre “homogeneidad” que se aplicaba en una misma amasada y “uniformidad” que era aplicado a diferentes amasadas.
- Se prohibía amasar el hormigón durante su transporte. Podían admitirse los amasados

- móviles pero en tal caso el amasado debía hacerse con el camión parado.
- En la lista de datos que se piden destacaban sobre todo los correspondientes a la especificación del hormigón. Estos datos eran:
 - a. Resistencia característica (Indicando además el contenido en cemento máximo y mínimo)
 - b. Tipo, clase, categoría y marca de cemento
 - c. Consistencia y relación máxima A/C
 - d. Tamaño máximo del árido
 - e. Tipo de aditivo
 - f. Procedencia y cantidad de cenizas volantes

Otras de las modificaciones importantes era que se exigía que en cada central existiera un servicio de laboratorio, que le permitiera efectuar el control de calidad.

En cuanto al curado, la norma EH-80 mantenía las mismas especificaciones que las anteriores. No obstante disponía algunas recomendaciones como, por ejemplo que el curado se debería prolongar hasta que el hormigón hubiera alcanzado, como mínimo el 70% de su resistencia de proyecto.

Una de las modificaciones más importantes con anteriores normativas es la asociación del nivel de control con los coeficientes de minoración de resistencias y mayoración de acciones. Dependiendo del nivel de control que disponía la obra, los coeficientes tenían un valor: a mayor control de calidad, existía un mayor control en el comportamiento del hormigón, con lo que la seguridad era mayor. A diferencia de normativas anteriores en la norma EH-80, el control de calidad tenía carácter preceptivo:

“En esta instrucción se establece con carácter preceptivo el control de calidad del hormigón y de sus materiales componentes, del acero y de la ejecución de la obra”

Los controles al hormigón solían referirse a su resistencia y a su consistencia. Los tipos de ensayos eran los mismos reflejados en las anteriores normativas.

Dentro del control estadístico, como se ha indicado anteriormente, había diferentes niveles:

- Control a nivel reducido
- Control a nivel normal
- Control a nivel intenso

Este tipo de control del hormigón ha sido utilizado hasta la actualidad. Se realizaba a través de determinaciones de resistencias de amasadas que fijaba el director de obra o en el pliego de condiciones técnicas particulares. Se efectuaba por lotes que venían especificados en la

normativa primeramente, y después con la aprobación del Libro de Control de Calidad en Obras de Edificación de Viviendas (LC-91) (*D.O.G.V. 1638/91*)

El control de ejecución también se mejoró notablemente. En este sentido y dependiendo del nivel de control estadístico, la Instrucción enumeraba una serie de operaciones que había que efectuar en el control de la obra y que correspondían a la dirección de la obra.

A.6. Los Años 90 y el Boom Inmobiliario de principio de la década de 2000. La instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado EH-91 y la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-98

Los primeros años de la década de los 90 trajo consigo una modificación de la norma EH-88, llamada como la anterior: Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado EH-91 (*B.O.E. 158/1991*). Prácticamente era similar a la anterior normativa. Únicamente cambiaba algunos artículos cuya redacción habían necesitado aclaraciones e introducía modificaciones que la adecuaban a la normativa europea.

Pero la Instrucción del Hormigón Estructural EHE-98 (*B.O.E. 783/1999*) sí que trajo consigo importantes cambios en el articulado. El primer cambio fue el nombre, pasándose a llamar Instrucción de Hormigón Estructural. El segundo cambio importante, fue que fusionó las dos normativas del hormigón que existían en ese momento, Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón en Masa o Armado EH-91 y otra Proyecto y la Ejecución de Obras de Hormigón Pretensado EP-93 (*B.O.E. 152/1993*).

En la nueva norma, la EHE-98, se daba gran importancia a la durabilidad, poniéndose ya de manifiesto en el artículo 1º. También cambiaba las unidades utilizadas, acoplándolas al sistema internacional. Así mismo, se introdujo un anexo específico para hormigón de alta resistencia, además de los mantenidos de las normativas anteriores.

A.6.1. Materiales

En relación al cemento, la norma EH-91 no introducía cambios con respecto a la anterior normativa. En cambio, la norma EHE-98 introdujo cambios importantes en el apartado dedicado al cemento. En este caso seguía remitiendo al Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos (RC-88) (*B.O.E. 1312/1988*), aunque restringía el uso a los de la clase resistente superior a 32,5, y a las limitaciones de la Tabla 26.1, que restringía el uso para hormigón pretensado a los cementos comunes de los tipos CEM I y CEM II A/D. La denominación de los cementos se ajustó a las normativas que venían de la Unión Europea. En este sentido, se permitió el uso de distintos tipo de cementos utilizables en las obras, dependiendo del porcentaje de clinker portland que tuvieran y el tipo de aditivos que dispusiera. También se consideraban los cementos de endurecimiento lento, normal o

rápido. Aunque en obras de edificación prácticamente no se produjo alteraciones en el tipo de cemento, usándose mayoritariamente el cemento portland (CEM I) o el cemento con adiciones tipo cenizas volantes (CEM II).

En relación al agua utilizada para la fabricación del hormigón, las normativas EH-91 y la EHE-98 seguían manteniendo el uso de aquellas que fueran sancionadas como aceptables en la práctica, con las mismas limitaciones en cuanto a elementos nocivos que las normativas anteriores.

No obstante en la norma EHE-98, se produjo un cambio en el contenido de cloruros del agua, tanto de amasado como para el curado. Se distinguía el porcentaje de ion cloruro dependiendo si era hormigón pretensado u hormigón armado o en masa que contuviera armaduras para reducir la fisuración:

- Ion Cloruro, Cl⁻ (UNE 7178:60)

Para hormigón pretensado	≤ 1 gramo por litro
Para hormigón armado o en masa que contenga arm	≤ 3 gramos por litro

En cuanto a los áridos, las normativas EH-91 y EHE-98 siguen manteniendo las prescripciones de las anteriores normativas. Sin embargo y debido a los grandes avances en el estudio del hormigón efectuados en la década de los 80, la EHE-98 dota de mayor importancia a la elección del árido para la fabricación del hormigón. Para ello, en la dosificación del hormigón se controlaba los contenidos de finos y áridos y sus curvas granulométricas.

La norma EHE-98 introdujo modificaciones con respecto a los otros componentes del hormigón. Se diferenciaba entre aditivos y adiciones, definiendo los aditivos como:

“Aditivos son aquellas sustancias o productos que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5 % del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido (...)”

Así mismo, definía las adiciones como:

“Aquellos materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que, finamente divididos, pueden ser añadidos al hormigón con el fin de mejorar alguna de sus propiedades o conferirle características especiales (...)”

Además de cenizas volantes, la EHE-98 permitía el uso de humo de sílice como adición al hormigón. Mantenía el porcentaje del 35 % para las cenizas y ponía un límite del 10% del

peso de cemento en el humo de sílice.

A.6.2. Cualidades, dosificación y fabricación del hormigón

En las normativas EH-91 y EHE-98, la docilidad y la consistencia no cambiaban sus prescripciones. En cuanto a la dosificación del hormigón, la Instrucción EH-91 dispone:

“La cantidad mínima de cemento por metro cúbico de hormigón será de 150 kg en el caso de hormigones en masa; de 200 kg en el caso de hormigones ligeramente armados y de 250 kg en el caso de hormigones armados.

La cantidad máxima de cemento por metro cúbico de hormigón será de 400 kg. En casos excepcionales previa justificación experimental y autorización expresa del Director de Obra se podrá superar dicho límite”

A.6.3. Recubrimientos de armadura

Las normas EH-91 y EHE-98 seguían manteniendo los mismos tipos de ambientes para determinar el grado de exposición de la estructura y los recubrimientos mínimos especificados en la EH-88, (Tabla. A.5.):

Tabla A.5.

Recubrimientos mínimos (en mm), según las condiciones ambientales de la estructura adaptada de la normativa EH-91 (Art. 13.3)

Tipo Ambiente	Condiciones ambientales	Recubrimiento
Ambiente I	Estructuras en interiores de edificios o medios exteriores de baja humedad (no se sobrepasa el 60 % de la humedad relativa más de 90 días al año)	20 mm
Ambiente II	Estructuras en exteriores normales (no agresivos) o en contacto con aguas normales o terreno ordinario	30 mm
Ambiente III	Estructuras en atmósfera agresiva industrial o marina, o en contacto con terrenos agresivos o con aguas salinas o ligeramente ácidas. Los valores anteriores podrá disminuirse:	40 mm
	En láminas, piezas con paramentos protegidos y piezas prefabricadas	5 mm
	En hormigones de $250 \leq f_{ck} < 400$ kp/cm ²	5 mm
	Con hormigones de $f_{ck} \geq 400$ kp/cm ² sin que en ningún caso resulten recubrimientos inferiores a 15 mm, 20 mm o 25 mm para los casos I, II y III respectivamente	10 mm

A.6.4. Tipo de Ambiente y durabilidad

En la norma EHE-98 ya se consideran los ambientes, con los recubrimientos necesarios, así como las diferentes características que deben de tener las estructuras en estos ambientes: contenido mínimo de cemento, relación agua/cemento y resistencia mínima del hormigón. Además, se disponía un artículo específico para durabilidad en el que se recogía el párrafo siguiente:

“Para satisfacer los requisitos establecidos en el Artículo 5º será necesario seguir una estrategia que considere todos los posibles mecanismos de degradación, adoptando medidas específicas en función de la agresividad a la que se encuentre sometido cada elemento.

La estrategia de durabilidad incluirá, al menos, los siguientes aspectos:

- a) Selección de formas estructurales adecuadas, de acuerdo con lo indicado en 37.2.2.*
- b) Consecución de una calidad adecuada del hormigón y, en especial de su capa exterior, de acuerdo con indicado en 37.2.3.*
- c) Adopción de un espesor de recubrimiento adecuado para la protección de las armaduras, según 37.2.4 y 37.2.5.*
- d) Control del valor máximo de abertura de fisura, de acuerdo con 37.2.6.*
- e) Disposición de protecciones superficiales en el caso de ambientes muy agresivos, según 37.2.7.*
- f) Adopción de medidas contra la corrosión de las armaduras, conforme a lo indicado en 37.4.”*

Además en la norma EHE-98 se incluía un apartado específico para la corrosión de las armaduras. Las características de los elementos se incluían a las tablas 37.3.2.a y 37.3.2.b. (Tabla A.6).

A.4.5. Control de la ejecución, puesta en obra y curado

Con respecto a este apartado, la norma EH-91 seguía los mismos postulados que las anteriores normativas.

La norma EHE-98 mantiene, también, las mismas pesquisas en cuanto a la ejecución del hormigón, su control y el curado.

Tabla A.6.

Parámetros de dosificación dependiendo de la clase de exposición, adaptada de la EHE-98 (Tabla 37.3.2.a)

Parámetros de dosificación	Tipo de Elemento	Clase de exposición												
		I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc	IV	Q _a	Q _b	Q _c	H	F	E
máxima relación agua/cemento	Masa	0,65	//	//	//	//	//	//	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Armado	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,50	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50	0,50
	Pretensado	0,60	0,60	0,55	0,50	0,45	0,45	0,45	0,50	0,45	0,45	0,55	0,50	0,50
Mínimo contenido de cemento (kg/m ³)	Masa	200	//	//	//	//	//	//	275	300	325	275	300	275
	Armado	250	275	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300
	Pretensado	275	300	300	300	325	350	325	325	350	350	300	325	300

ANEXO B. PROYECTOS ESTUDIADOS Y SUS CARACTERÍSTICAS

B.1. Introducción

A continuación se presentan varias tablas que se han utilizado a lo largo de esta Tesis Doctoral. En estas tablas se plasman tanto los profesionales entrevistados como los proyectos analizados, tanto los proyectos de ejecución de los edificios como los proyectos de intervención de edificios existentes. Es necesario señalar que en estas tablas se encuentran únicamente los proyectos en donde se ha podido extraer información que haya servido para la realización de este trabajo.

Varios de los proyectos de intervención han sido extraídos de los ayuntamientos de las diferentes poblaciones analizadas. Además han obtenido proyectos de los propios técnicos intervinientes en las reparaciones efectuadas.

Por la Ley de Protección de Datos, los nombres de los edificios no se materializan. En su caso, únicamente se ha nombrado el núcleo urbano al que pertenece y el año de construcción.

B.2. Profesionales entrevistados durante la realización de la Tesis Doctoral

La Tabla B.1 corresponde a los profesionales entrevistados, tanto para la realización del *Capítulo 4* como para el *Capítulo 5*. En esta tabla se refleja el entrevistado, su profesión, el tipo de trabajo realizado, la zona donde ha desarrollado su actividad, el período de trabajo la fecha de la entrevista y el lugar donde se ha realizado.

Tabla B.1.

Tabla de entrevistas realizadas

Entrevistado	Profesión	Tipo de trabajo que realiza	Tipo de Preguntas	Realización de la actividad profesional	Periodo de trabajo	Lugar de entrevista	Fecha
Enrique Rodrigo	Arquitecto	Director de Obra	Construcción Rehabilitación	Valencia centro	1992-1997 1997-2007	Xeraco	abr-14
Bernardo Perepérez	Arquitecto	Profesor de la UPV	Construcción Rehabilitación	Valencia centro	1968-1973 1973-1985	UPV	jul-14
Salvador Giménez	Constructor	Construcción	Construcción	Valencia centro Valencia sur	1968-1973 1973-1985	Alzira	oct-14
José Gabaldón	Aparejador	Director técnico Hispamer	Construcción	Valencia centro	1973-1985	Valencia	dic-14
Antonio Hospitaler	Ingeniero Industrial	Profesor de la UPV	Construcción	Valencia sur Alicante	1973-1985 1985-1992	UPV	dic-14
Eugenio Reig	Aparejador	Aparejador municipal	Construcción Rehabilitación	Valencia norte	1985-1992	Puebla de Farnals	mar-15
Carlos Peralta	Aparejador	Director ejecución	Construcción	Castellón norte	1992-1997	Valencia	may-15
Francisco Tapia	Arquitecto	Estructurista	Construcción	Castellón centro	1997-2007	Valladolid	may-15
Alejandro Edo	Arquitecto	Director de Obra	Construcción Rehabilitación	Castellón norte Castellón centro	1992-1997 1997-2007	Castellón	may-15
Dulce Pascual	Aparejadora	Aparejador Municipal	Construcción Rehabilitación	Castellón norte	Actualidad	Peñíscola	may-14
Gabriel Ibor	Arquitecto	Rehabilitación	Construcción Rehabilitación	Castellón norte Valencia centro Castellón norte	Actualidad	Valencia	sep-14
Juan Felipe Pons	Aparejador	Rehabilitación	Rehabilitación	Castellón centro Castellón norte	Actualidad	Castellón	nov-14
Oscar Caballero	Arquitecto	Rehabilitación	Rehabilitación	Castellón centro	Actualidad	Castellón	may-15
Jorge Catalán	Arquitecto	Director de Obra	Rehabilitación	Valencia norte	Actualidad	Pobla de Farnals	sep-14
Alejandro Andújar	Arquitecto	Director de Obra	Rehabilitación	Valencia centro	Actualidad	Valencia	may-15
Rafael Iranzo	Arquitecto	Director de Obra	Rehabilitación	Valencia centro	Actualidad	Valencia	may-15

B.3. Tablas de proyectos de ejecución estudiados.

Tabla B.2.

Tabla de proyectos de ejecución estudiados. Datos generales

	Tipología	Plantas	Año de Construcción	Ubicación	Situación	Distancia a Costa (m)
1 ^{er} Período						
Ed_01_01	Bloque en altura	11	1968	1ª línea	Perpendicular costa	60
Ed_02_01	Bloque en altura	11	1968	1ª línea	Perpendicular costa	20
Ed_03_01	Bloque en altura	13	1969	1ª línea	Perpendicular costa	70
Ed_04_01	Bloque en altura	8	1970	2ª línea	Perpendicular costa	115
Ed_05_01	Bloque en altura	11	1973	2ª línea	Paralelo costa	125
Ed_06_01	Bloque en altura	8	1968	2ª línea	Paralelo costa	150
Ed_07_01	Bloque en altura	7	1971	1ª línea	Perpendicular costa	80
Ed_08_01	Bloque en altura	21	1968	1ª línea	Perpendicular costa	83
Ed_09_01	Torre	12	1972	1ª línea	Torre	60
Ed_10_01	Bloque en altura	16	1971	1ª línea	Paralelo costa	85
Ed_11_01	Bloque en altura	6	1968	2ª línea	Perpendicular costa	98
2ª Período						
Ed_01_02	Torre	11	1983	2ª línea	Perpendicular costa	385
Ed_02_02	Torre	11	1973	2ª línea	Perpendicular costa	470
Ed_03_02	Torre	11	1978	2ª línea	Perpendicular costa	360
Ed_04_02	Bloque en altura	15	1977	2ª línea	Perpendicular costa	630
Ed_05_02	Bloque en altura	10	1978	2ª línea	Perpendicular costa	590
Ed_06_02	Bloque en altura	14	1973	2ª línea	Perpendicular costa	780
Ed_07_02	Torre	13	1973	2ª línea	Perpendicular costa	255
Ed_08_02	Torre	13	1973	2ª línea	Perpendicular costa	350
Ed_09_02	Torre	13	1973	2ª línea	Perpendicular costa	255
Ed_10_02	Torre	13	1973	2ª línea	Perpendicular costa	293
Ed_11_02	Bloque en altura	8	1979	1ª línea	Paralelo costa	95
Ed_12_02	Bloque en altura	5	1981	2ª línea	Paralelo costa	300
Ed_13_02	Bloque en altura	5	1977	2ª línea	Perpendicular costa	140
Ed_14_02	Bloque en altura	8	1975	1ª línea	Perpendicular costa	45
Ed_15_02	Bloque en altura	13	1973	2ª línea	Perpendicular costa	255
3 ^{er} Período						
Ed_01_03	Bloque en altura	8	1992	2ª línea	Perpendicular costa	168
Ed_02_03	Bloque en altura	8	1989	2ª línea	Perpendicular costa	180
Ed_03_03	Torre	8	1989	2ª línea	Paralela costa	191
Ed_04_03	Bloque en altura	10	1989	1ª línea	Paralela costa	70
Ed_05_03	Bloque en altura	7	1990	2ª línea	Perpendicular costa	174
Ed_06_03	Bloque en altura	5	1994	1ª línea	Paralela costa	102

Tabla B.2. (Continuación)

Tabla de proyectos de ejecución estudiados. Datos generales

	Tipología	Plantas	Año de Construcción	Ubicación	Situación	Distancia a Costa (m)
Ed_07_03	Bloque en altura	7	1995	2ª línea	Perpendicular costa	175
Ed_08_03	Bloque en altura	9	1999	2ª línea	Perpendicular costa	171
Ed_09_03	Bloque en altura	8	1997	2ª línea	Perpendicular costa	164
5º Período						
Ed_01_05	Bloque en altura	10	2000	1ª línea	Perpendicular costa	166
Ed_02_05	Bloque en altura	10	2000	1ª línea	Perpendicular costa	170
Ed_03_05	Bloque en altura	11	2002	1ª línea	Perpendicular costa	142
Ed_04_05	Bloque en altura	7	2002	2ª línea	Perpendicular costa	200
Ed_05_05	Bloque en altura	5	1994	1ª línea	Paralela costa	102
Ed_06_05	Bloque en altura	7	1995	2ª línea	Perpendicular costa	175
Ed_07_05	Bloque en altura	12	2002	1ª línea	Perpendicular costa	150
Ed_08_05	Bloque en altura	8	1997	2ª línea	Perpendicular costa	164

Tabla B.3.

Tabla de proyectos de ejecución estudiados. Datos constructivos

	Tipo Estructura	Tipo Viga	Norma Empleada	f_{ck} (MPa)	Tipo Cemento	Tipo Acero	Limite elastico	Contenido cemento (Kg/m ³)	recub. (mm)
1 ^{er} Período									
Ed_01_01	H.A.	Cuelgue	HA-61	15	P-350		2400	300	25
Ed_02_01	Acero	Cuelgue	HA-61	-	-	A37	2400		25
Ed_03_01	H.A.	Cuelgue	HA-61	15	P-350		2400	250	25
Ed_04_01	H.A.	Cuelgue	HA-61	15	P-350		2400	250	25
Ed_05_01	H.A.	Cuelgue	HA-68	17,5	P-350		2400	350	30
Ed_06_01	H.A.	Cuelgue	HA-61	17,5	P-350		4200		25
Ed_07_01	H.A.	Cuelgue	HA-61	17,5	P-350		4200	300	30
Ed_08_01	Metálica	Cuelgue	MV-104	-	-	A37	2400		25
Ed_09_01	H.A. Forj. Placas	Cuelgue	HA-68	150	P-350		2400	350	30
Ed_10_01	H.A.	Cuelgue	HA-68	150	P-350		4200	350	30
Ed_11_01	H.A.	Cuelgue	HA-61	17,5	P-350		4200	350	30

Tabla B.3. (Continuación)

Tabla de proyectos de ejecución estudiados. Datos constructivos

	Tipo Estructura	Tipo Viga	Norma	f _{ck} MPa	Tipo Cemento	Tipo Acero	Limite elástico	Cont. cemento Kg/m ³	Recub. Mm.
2º Período									
Ed_01_02	H.A.	Morris	EH-80	17,5	P-350	AE-42 F	4200	360	25
Ed_02_02	Acero	PNI-20	EH-68	15	P-350	PNI-20		350	30
Ed_03_02	H.A.	Plana	EH-73	15	P-350		4600	245	25
Ed_04_02	H.A.	For. Ret.	EH-73	17,5	P-350			350	30
Ed_05_02	H.A.	Cuelgue	EH-73	15	P-350	AE-42	1400	250	30
Ed_06_02	H.A.	Cuelgue	EH-68	17,5	P-350	Tetracero42	4200	350	25
Ed_07_02	H.A.	Plana	EH-73	17,5	P-350	AE-42	4200	360	30
Ed_08_02	H.A.	Plana	EH-73	17,5	P-350	AE-42	4200	360	30
Ed_09_02	H.A.	Plana	EH-73	17,5	P-350	AE-42	4200	360	25
Ed_10_02	H.A.	Plana	EH-73	17,5	P-350	AE-42	4200	360	30
Ed_11_02	H.A.	Cuelgue	EH-73	17,5	P-350	A4200	4200	300	30
Ed_12_02	H.A.	Cuelgue	EH-73	15	P-350	A4200	4200	320	25
Ed_13_02	H.A.	Planas	EH-73	17,5	P-350	AE-42N	4200	300	30
Ed_14_02	H.A.	Planas	EH-73	17,5	P-350	Tetracero42	4200	300	25
Ed_15_02	H.A.	Plana	EH-73	17,5	P-350	AE-42	4200	360	30
3º Período									
Ed_01_03	H.A.	Cuelgue	EH-82	17,5	P-350	AEH-400	4200		30
Ed_02_03	H.A.	Plana	EH-80	17,5	P-350	AE-42 N	4200	305	30
Ed_03_03	H.A.	Cuelgue	EH-82	17,5	P-350	AEH-400	4200	325	30
Ed_04_03	H.A.	Plana	EH-88	17,5	P-350	AEH-400	4200	300	30
Ed_05_03	H.A.	Cuelgue	EH-82	17,5	P-350	AEH-400	4200	300	30
Ed_06_03	H.A.	Plana	EH-91	25	I-0/35A	AEH-400S	4200		30
Ed_07_03	H.A.	Plana	EH-91	17,5	PA-350	AEH-500	5200	270	30
Ed_08_03	H.A.	Plana	EH-91	25	CEM II/35	AEH-500	5200		30
Ed_09_03	H.A.	Cuelgue	EH-91	25	I-0/35A	AEH-400S	4200		30
5º Período									
Ed_01_05	H.A.	Plana	EHE-98	25	CEM II/32,5	B-500-S	5100	275	40
Ed_02_05	H.A.	Plana	EHE-98	25	CEM II/32,5	B-500-S	5100	275	40
Ed_03_05	H.A.	Plana	EHE-98	25	CEM II/32,5	B-500-S	5100	275	40
Ed_04_05	Mixta	Plana	EHE-98	25	CEM I/42,5R	A-42	4200	275	30
Ed_05_05	H.A.	Plana	EH-91	25	I-0/35A	AEH-400S	4200		30
Ed_06_05	H.A.	Plana	EH-91	25	PA-350	AEH-500	5200	270	30
Ed_07_05	H.A.	Plana	EHE-98	25	CEM II/32,5	B-500-S	5100	275	35
Ed_08_05	H.A.	Cuelgue	EH-91	25	I-0/35A	AEH-400S	4200		30

B.4. Tablas de proyectos de intervención estudiados. Datos generales

Tabla B.4.

Tabla de proyectos de intervención estructural estudiados. Datos generales

Localidad	Proyecto	Año Const	Tipología	Plantas	Situación	Dist. costa	Grado de Exposición	
Peñíscola	Ed_Peñ-1_01	1980	Bloque aislado	12 plantas	1ª línea	100	Expuesto	N-S
	Ed_Peñ-2_02	1971	Bloque aislado	15 plantas	1ª línea	100	Expuesto	N-S
	Ed_Peñ-3_03	1968	Bloque aislado	15 plantas	1ª línea	100	Expuesto	E-O
	Ed_Peñ-4_04	1978	Bloque aislado	14 plantas	1ª línea	100	Expuesto	E-O
Oropesa del Mar	Ed_Oro-1_05	1971	Bloque aislado	15 plantas	1ª línea	100	Expuesto	N-S
	Ed_Oro-2_06	1979	Torre	8 plantas	1ª línea	75	Expuesto	E-O
	Ed_Oro-3_07	1967	Torre	6 plantas	2ª línea	130	Expuesto	E-O
	Ed_Oro-4_08	1981	Bloque aislado	5	2ª línea	380	Medio	SE-NO
	Ed_Oro-5_09	1987	Bloque aislado	5 plantas	1ª línea	80	Expuesto	N-S
Benicassim	Ed_Ben-1_10	1970	Bloque aislado	5 plantas	2ª línea	400	Medio	E-O
	Ed_Ben-2_11	1975	Bloque aislado	6 plantas	2ª línea	500	Medio	SE-NO
	Ed_Ben-3_12	1982	Torre	11 plantas	1ª línea	75	Expuesto	SE-NO
El Puig	Ed_Pui-1_13	1970	Bloque aislado	5 plantas	1ª línea	150	Expuesto	N-S
	Ed_Pui-2_14	1981	Torre	20 plantas	1ª línea	200	Expuesto	E-O
	Ed_Pui-3_15	1971	Torre	15 plantas	1ª línea	80	Expuesto	N-S
	Ed_Pui-4_16	1975	Torre	14 plantas	1ª línea	150	Expuesto	E-O
	Ed_Pui-5_17	1970	Bloque aislado	17 plantas	2ª línea	285	Expuesto	N-S
	Ed_Pui-6_18	1979	Torre	14 plantas	1ª línea	100	Expuesto	E-O
	Ed_Pui-7_19	1980	Bloque aislado	20 plantas	1ª línea	110	Expuesto	N-S
Pobla de Farnals	Ed_PFar -1_20	1970	Bloque aislado	6 plantas	2ª línea	246	Medio	N-S
	Ed_PFar -2_21	1969	Torre	8 plantas	1ª línea	137	Expuesto	E-O
	Ed_PFar -3_22	1972	Bloque aislado	7 plantas	2ª línea	360	Medio	E-O
	Ed_PFar -4_23	1975	Bloque aislado	17 plantas	2ª línea	310	Medio	E-O
	Ed_PFar -5_24	1973	Bloque aislado	6 plantas	1ª línea	142	Expuesto	E-O
	Ed_PFar -6_25	1975	Bloque aislado	6 plantas	2ª línea	215	Medio	E-O
	Ed_PFar -7_26	1979	Bloque aislado	7 plantas	1ª línea	150	Expuesto	E-O
Perellonet	Ed_Per-1_27	1985	Bloque aislado	8 plantas	1ª línea	90	Expuesto	N-S

Tabla B.4. (Continuación)

Tabla de proyectos de intervención estructural estudiados. Datos generales

Localidad	Proyecto	Año Const	Tipología	Plantas	Situación	Dist. costa	Grado de Exposición	
	Ed_Cull-1_28	1980	Manzana cerrada	12 plantas	1ª línea	100	Expuesto	E-O
	Ed_Cull-2_29	1972	Bloque aislado	8 plantas	2ª línea	150	Expuesto	E-O
	Ed_Cull-3_30	1960	Manzana cerrada	5 plantas	1ª línea	50	Expuesto	E-O
	Ed_Cull-4_31	1968	Manzana cerrada	11 plantas	2ª línea	420	Medio	E-O
	Ed_Cull-5_32	1977	Manzana cerrada	9 plantas	2ª línea	500	Medio	N-S
	Ed_Cull-6_33	1972	Manzana cerrada	12 plantas	1ª línea	100	Expuesto	N-S
Cullera	Ed_Cull-7_34	1967	Manzana cerrada	6 plantas	2ª línea	500	Medio	E-O
	Ed_Cull-8_35	1977	Bloque aislado	11 plantas	1ª línea	20	Expuesto	E-O
	Ed_Cull-9_36	1985	Bloque aislado	7 plantas	1ª línea	40	Expuesto	SO-NE
	Ed_Cull-10_37	1968	Manzana cerrada	9 plantas	2ª línea	200	Expuesto	N-S
	Ed_Cull-11_38	1966	Bloque aislado	11 plantas	1ª línea	30	Expuesto	E-O
	Ed_Cull-12_39	1984	Bloque aislado	12 plantas	2ª línea	162	Expuesto	N-S
	Ed_Cull-13_40	1989	Bloque aislado	14 plantas	2ª línea	300	Medio	N-S
Tavernes de la Valldigna	Ed_Tav-01_41	1973	Bloque aislado	12 plantas	2ª línea	300	Medio	SO-NE
	Ed_Xer-08_42	1992	Bloque aislado	12 plantas	2ª línea	168	Expuesto	N-S
	Ed_Xer-08_43	1989	Bloque aislado	8 plantas	2ª línea	180	Expuesto	N-S
	Ed_Xer-08_44	1983	Torre	8 plantas	2ª línea	191	Expuesto	E-O
Xeraco	Ed_Xer-08_45	1990	Bloque aislado	7 plantas	2ª línea	174	Expuesto	N-S
	Ed_Xer-08_46	1994	Bloque aislado	5 plantas	1ª línea	102	Expuesto	E-O
	Ed_Xer-08_47	1995	Bloque aislado	7 plantas	2ª línea	175	Expuesto	N-S
	Ed_Xer-08_48	1999	Bloque aislado	9 plantas	2ª línea	171	Expuesto	N-S
	Ed_Xer-08_49	1997	Bloque aislado	8 plantas	2ª línea	164	Expuesto	N-S
Calpe	Ed_Cal-1_50	1970	Torre	8 plantas	1ª línea	80	Expuesto	SE-NO
Playa San Juan	Ed_Sju-01_51	1991	Torre	19 plantas	1ª línea	118	Expuesto	E-O
	Ed_Sju-01_52	1965	Torre	22 plantas	1ª línea	100	Expuesto	SE-NO

B.5. Tablas de proyectos de intervención estudiados. Datos constructivos

Tabla B.5.

Tabla de proyectos de intervención estructural estudiados. Datos constructivos

Localidad	Proyecto	Tipo Estructura	Tipo Viga	Estructura Vista	Tipo Forjado	Tipo Horm.	Norma
Peñíscola	Ed_Peñ-1_01	H.A.	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-175	EH-73
	Ed_Peñ-2_02	H.A.	Cuelgue	Si	Vigueta armada	H-175	HA-68
	Ed_Peñ-3_03	Metálica	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-150	HA-61
	Ed_Peñ-4_04	H.A.	Plana	No	vigueta pretensada	H-175	EH-73
	Ed_Oro-1_05	H.A.	Plana	No	vigueta pretensada	H-150	Ha-68
Oropesa del Mar	Ed_Oro-2_06	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-150	EH-73
	Ed_Oro-3_07	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta metálica	H-175	HA-61
	Ed_Oro-4_08	H.A.	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-150	EH-73
	Ed_Oro-5_09	H.A.	Plana	No	vigueta pretensada	H-175	EH-82
Benicàssim	Ed_Ben-1_10	H.A.	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-175	EH-68
	Ed_Ben-2_11	H.A.	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-175	EH-73
	Ed_Ben-3_12	H.A.	Plana	Si	Losa maciza en terrazas	H-175	EH-80
El Puig	Ed_Pui-1_13	H.A.	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-175	HA-68
	Ed_Pui-2_14	Metálica	Cuelgue	No	Losa alveolar	H-175	EH-80
	Ed_Pui-3_15	H.A.	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-150	HA-68
	Ed_Pui-4_16	H.A.	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-175	EH-73
	Ed_Pui-5_17	H.A.	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-150	HA-68
	Ed_Pui-6_18	H.A.	Plana	Si	vigueta pretensada	H-175	EH-73
	Ed_Pui-7_19	Metálica	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-175	EH-73
Pobla de Farnals	Ed_PFar-1_20	H.A.	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-150	EH-68
	Ed_PFar -2_21	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-150	EH-68
	Ed_PFar -3_22	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-150	EH-68
	Ed_PFar -4_23	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-175	EH-73
	Ed_PFar -5_24	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-150	EH-68
	Ed_PFar -6_25	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-150	EH-73
	Ed_PFar -7_26	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-175	EH-73
Perellonet	Ed_Per-1_27	H.A.	Plana	No	vigueta pretensada	H-175	EH-80

Tabla B.5. (Continuación)

Tabla de proyectos de intervención estructural estudiados. Datos constructivos

Localidad	Proyecto	Tipo Estructura	Tipo Viga	Estructura Vista	Tipo Forjado	Tipo Horm.	Norma
	Ed_Cull-1_28	H.A.	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-150	
	Ed_Cull-2_29	H.A.	Plana	No	vigueta pretensada	H-150	EH-68
	Ed_Cull-3_30	H.A.	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-175	HP-60
	Ed_Cull-4_31	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	Sin datos	Sin datos
	Ed_Cull-5_32	H.A.	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-150	EH-73
	Ed_Cull-6_33	H.A.	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-150	EH-68
Cullera	Ed_Cull-7_34	H.A.	Plana	No	vigueta pretensada	H-175	EH-61
	Ed_Cull-8_35	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-175	EH-73
	Ed_Cull-9_36	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-175	EH-80
	Ed_Cull-10_37	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-175	HA-61
	Ed_Cull-11_38	Metalica	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-175	HA-61
	Ed_Cull-12_39	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-175	EH-82
	Ed_Cull-13_40	H.A.	Plana	No	vigueta pretensada	H-175	EH-88
Tavernes de la Valldigna	Ed_Tav-01_41	H.A.	Cuelgue	No	vigueta pretensada	H-150	HA-68
	Ed_Xer-08_42	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-175	EH-82
	Ed_Xer-08_43	H.A.	Plana	Si	vigueta pretensada	H-175	EH-80
	Ed_Xer-08_44	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	Sin datos	EH-82
Xeraco	Ed_Xer-08_45	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	Sin datos	EH-82
	Ed_Xer-08_46	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-250	EH-91
	Ed_Xer-08_47	H.A.	Plana	No	vigueta pretensada	H-250	EH-91
	Ed_Xer-08_48	H.A.	Plana	No	vigueta pretensada	H-250	EH-91
	Ed_Xer-08_49	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	H-250	EH-91
Calpe	Ed_Cal-1_50	H.A.	Cuelgue	Si	vigueta pretensada	Sin datos	EH-68
Playa San Juan	Ed_Sju-01_51	H.A.	Sin datos	No	Sin datos	H-175	EH-73
	Ed_Sju-01_52	H.A.	Sin datos	No	Sin datos	Sin datos	HA-61

B.6. Tablas de proyectos de intervención estudiados. Datos de daños

Tabla B.6.

Tabla de proyectos de intervención estructural estudiados. Datos de daños

Localidad	Proyecto	Manifestaciones Patológicas	Causas	Ataques	Ubicación
Peñíscola	Ed_Peñ-1_01	Fisuras longitudinales	Corrosión	Carbonatación	Vigas y frente de forjado
	Ed_Peñ-2_02	Desprendimiento y Grietas	Corrosión	Carbonatación y Capilaridad	Pilares vigas frentes de forjado
	Ed_Peñ-3_03	Grietas	Corrosión	Sin datos	Frentes de forjado, viguetas
Oropesa del Mar	Ed_Peñ-4_04	Desprendimiento y Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado, pilares
	Ed_Oro-1_05	Humedades, Grietas	Corrosión y Humedades	Carbonatación	Pilares vigas frentes de forjado
	Ed_Oro-2_06	Fisuras y grietas	Corrosión y Humedades	Sin datos	Frentes de forjado, pilares
	Ed_Oro-3_07	Humedades, Fisuras	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado, pilares, vigas.
	Ed_Oro-4_08	Fisuras y grietas	Corrosión	Sin datos	Pilares
Benicàssim	Ed_Oro-5_09	Fisuras y grietas	Corrosión y Humedades	Sin datos	Pilares y frentes de forjado
	Ed_Ben-1_10	Humedades, Grietas	Corrosión y Humedades	Carbonatación y Capilaridad	Frentes de forjado, pilares, viguetas
	Ed_Ben-2_11	Humedades, Grietas	Corrosión y Humedades	Carbonatación, Capilaridad, Aluminosis	Frentes de forjado, pilares, viguetas
El Puig	Ed_Ben-3_12	Desprendimiento y Grietas	Corrosión	Sin datos	Frentes de forjado y pilares
	Ed_Pui-1_13	Desprendimiento y Grietas	Corrosión y Humedades	Ion cloruro	Frentes de forjado y pilares
	Ed_Pui-2_14	Grietas	Corrosión y Humedades	Sin datos	Pilares vigas frentes de forjado
	Ed_Pui-3_15	Desprendimiento y Grietas	Corrosión	Sin datos	Frentes de forjado
	Ed_Pui-4_16	Grietas	Corrosión	Sin datos	Frentes de forjado
	Ed_Pui-5_17	Desprendimiento y Grietas	Corrosión	Ion cloruro	Frentes de forjado
	Ed_Pui-6_18	Grietas	Corrosión	Sin datos	Frentes de forjado
Ed_Pui-7_19	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado	

Tabla B.6. (Continuación)

Tabla de proyectos de intervención estructural estudiados. Datos de daños

Localidad	Proyecto	Manifestaciones Patológicas	Causas	Ataques	Ubicación
Pobla de Farnals	Ed_PFar -1_20	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado
	Ed_PFar -2_21	Grietas	Corrosión	Ion cloruro	Frentes de forjado,
	Ed_PFar -3_22	Grietas	Corrosión	Sin datos	Frentes de forjado
	Ed_PFar -4_23	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Pilares vigas frentes
	Ed_PFar -5_24	Grietas	Corrosión	Sin datos	Vigas y frente de forjado
	Ed_PFar -6_25	Grietas	Corrosión	Sin datos	Vigas y frente de forjado
	Ed_PFar -7_26	Grietas	Corrosión	Sin datos	Vigas y frente de forjado
Perellonet	Ed_Per-1_27	Desprendimiento y Grietas	Corrosión	Sin datos	Pilares y vigas
Cullera	Ed_Cull-1_28	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado, pilares
	Ed_Cull-2_29	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado, pilares
	Ed_Cull-3_30	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado
	Ed_Cull-4_31	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado
	Ed_Cull-5_32	Humedades, Grietas	Corrosión y Humedades	Carbonatación y Capilaridad	Pilares vigas frentes
	Ed_Cull-6_33	Desprendimiento y Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado
	Ed_Cull-7_34	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado
	Ed_Cull-8_35	Desprendimiento y Grietas	Corrosión	Ion cloruro	Pilares vigas frentes
	Ed_Cull-9_36	Desprendimiento y Grietas	Corrosión	Carbonatación	Pilares vigas frentes
	Ed_Cull-10_37	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado de forjado
	Ed_Cull-11_38	Grietas	Corrosión	Ion cloruro	Terrazas y frentes de forjado
	Ed_Cull-12_39	Grietas	Corrosión	Sin datos	Pilares
	Ed_Cull-13_40	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado
Tavernes de la Valldigna	Ed_Tav-01_41	Grietas	Corrosión	Carbonatación y Capilaridad	Frentes, vigas y pilares

Tabla B.6. (Continuación)

Tabla de proyectos de intervención estructural estudiados. Datos de daños

Localidad	Proyecto	Manifestaciones Patológicas	Causas	Ataques	Ubicación
Xeraco	Ed_Xer-08_42	Desprendimiento y Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado y vigas
	Ed_Xer-08_43	Fisuras y grietas	Corrosión	Sin datos	Frentes de forjado
	Ed_Xer-08_44	Grietas	Corrosión	Sin datos	Frentes de forjado
	Ed_Xer-08_45	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes y pilares
	Ed_Xer-08_46	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes y elementos secundarios
	Ed_Xer-08_47	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado
	Ed_Xer-08_48	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado
	Ed_Xer-08_49	Grietas	Corrosión	Sin datos	Frentes de forjado, pilares
Calpe	Ed_Cal-1_50	Desprendimiento y Grietas	Corrosión	Sin datos	Frentes de forjado, vigas y pilares
Playa San Juan	Ed_Sju-01_51	Grietas	Corrosión	Carbonatación	Frentes de forjado
	Ed_Sju-01_52	Grietas	Corrosión	Ion cloruro	Frentes de forjado

B.7. Tablas de proyectos de intervención estudiados. Datos de la intervención realizada

Tabla B.7.

Tabla de proyectos de intervención estructural estudiados. Datos de la intervención realizada

Localidad	Proyecto	Tipo Intervención	Tipo de reparación	Intervención previa	Descripción refuerzo	Nivel Daños	Ensayos previos
Peñíscola	Ed_Peñ-1_01	Reparación	Integral	No	No	3 y 4	Fenolftaleína
	Ed_Peñ-2_02	Refuerzo y reparación	Integral	Si	Sustitución funcional	4	Fenolftaleína
	Ed_Peñ-3_03	Reparación	Parcheo	No	No	3	No
	Ed_Peñ-4_04	Reparación	Parcheo	No	No	4	Fenolftaleína
Oropesa del Mar	Ed_Oro-1_05	Reparación	Parcheo	No	No	3	Resistencia y fenolftaleína
	Ed_Oro-2_06	Reparación	Parcheo	No	No	4	Catas
	Ed_Oro-3_07	Reparación	Parcheo	Si	No	4	Catas
	Ed_Oro-4_08	Reparación	Parcheo	No	No	3	No
	Ed_Oro-5_09	Reparación	Parcheo	No	No	3	No

Tabla B.7. (Continuación)

Tabla de proyectos de intervención estructural estudiados. Datos de la intervención realizada

Localidad	Proyecto	Tipo Intervención	Tipo de reparación	Intervención previa	Descripción refuerzo	Nivel Daños	Ensayos previos
Benicassim	Ed_Ben-1_10	Reparación y sustitución	Parcheo	No	Sustitución funcional	4	Fenolftaleína y Cemento alum.
	Ed_Ben-2_11	Reparación y sustitución	Integral	No	Sustitución funcional	4	Fenolftaleína y Cemento alum.
	Ed_Ben-3_12	Reparación	Integral	Si	No	4	No
El Puig	Ed_Pui-1_13	Reparación y refuerzo	Parcheo	No	No	4	Catas
	Ed_Pui-2_14	Reparación y sustitución	Parcheo	Si	Sustitución armadura	3	No
	Ed_Pui-3_15	Reparación	Parcheo	No	No	3	No
	Ed_Pui-4_16	Reparación	Parcheo	No	No	2 y 3	Catas
	Ed_Pui-5_17	Reparación	Parcheo	No	No	3	No
	Ed_Pui-6_18	Reparación	Parcheo	No	No	3	Catas
	Ed_Pui-7_19	Reparación y sustitución	Integral	No	Sustitución funcional	3	Fenolftaleína
Pobla de Farnals	Ed_Pfar-1_20	Reparación	Parcheo	Si	No	2 y 3	No
	Ed_Pfar-2_21	Reparación	Parcheo	No	No	3	No
	Ed_Pfar-3_22	Reparación	Parcheo	No	No	3	Catas
	Ed_Pfar-4_23	Reparación y refuerzo	Integral	Si	Sustitución funcional	4	Fenolftaleína
	Ed_Pfar-5_24	Reparación y refuerzo	Integral	Si	Sustitución funcional	3	Resistencia y fenolftaleína
	Ed_Pfar-6_25	Reparación y refuerzo	Integral	Si	Sustitución funcional	3	Resistencia y fenolftaleína
	Ed_Pfar-7_26	Reparación y refuerzo	Integral	No	Sustitución funcional	3	Resistencia y fenolftaleína
Perellonet	Ed_Per-1_27	Reparación	Parcheo	No	No	4	No
Cullera	Ed_Cull-1_28	Reparación y refuerzo	Parcheo	Si	Refuerzo metálico	4	Fenolftaleína
	Ed_Cull-2_29	Reparación	Parcheo	No	No	3	No
	Ed_Cull-3_30	Reparación	Parcheo	No	No	3	No

Tabla B.7. (Continuación)

Tabla de proyectos de intervención estructural estudiados. Datos de la intervención realizada

Localidad	Proyecto	Tipo Intervención	Tipo de reparación	Intervención previa	Descripción refuerzo	Nivel Daños	Ensayos previos
	Ed_Cull-4_31	Reparación	Parqueo	No	No	3	No
	Ed_Cull-5_32	Reparación y sustitución	Integral	No	Sustitución funcional	4	Fenolftaleína y Cemento alum.
	Ed_Cull-6_33	Reparación	Parqueo	No	No	3	No
	Ed_Cull-7_34	Reparación	Parqueo	No	No	3	Catas
	Ed_Cull-8_35	Reparación y sustitución	Integral	Si	Sustitución funcional	4	Cloruros, Resistencia, fenolftaleína
	Ed_Cull-9_36	Reparación y refuerzo	Integral	No	Refuerzo metálico	4	Fenolftaleína
	Ed_Cull-10_37	reparación	Parqueo	No	No	3	No
	Ed_Cull-11_38	Sustitución funcional	Integral	Si	Sustitución funcional	4	Fenolftaleína
	Ed_Cull-12_39	Reparación	Parqueo	No	No	3	Resistencia y fenolftaleína
	Ed_Cull-13_40	reparación	Parqueo	No	No	3	No
Tavernes de la Valldigna	Ed_Tav-01_41	reparación y refuerzo	Integral	No	Encamisado	4	Cloruros, Resistencia, fenolftaleína
	Ed_Xer-08_42	reparación	Parqueo	Si	No	4	Catas
	Ed_Xer-08_43	reparación	Parqueo	No	No	3	Catas
	Ed_Xer-08_44	reparación	Parqueo	No	No	3	No
Xeraco	Ed_Xer-08_45	Reparación	Parqueo	No	No	3	No
	Ed_Xer-08_46	Reparación	Parqueo	No	No	3	No
	Ed_Xer-08_47	Reparación	Parqueo	No	No	3	Catas
	Ed_Xer-08_48	Reparación	Parqueo	Se desc.	No	3	Catas
	Ed_Xer-08_49	Reparación	Parqueo	Se desc.	No	3	No
Calpe	Ed_Cal-1_50	Reparación	Integral	Se desc.	No	4	No
Playa San Juan	Ed_Sju-01_51	Reparación	Parqueo	No	No	3	Catas
	Ed_Sju-01_52	Reparación	Parqueo	Se desc.	No	3	Cloruros, fenolftaleína