



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS

# TRABAJO DE FIN DE MASTER

---

Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al  
ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)

---

*Presentado por*

Uzqueda Pellejero, Miguel

---

*Para la obtención del*

Master Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

*Curso: 2019/2020*

*Fecha: 8 de Junio de 2020*

*Tutor: Pellicer Armiñana, Teresa María*

# ÍNDICE DEL TRABAJO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>7</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
1.1. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO .....	11
1.2. ANTECEDENTES .....	13
1.3. OBJETIVOS (PRINCIPAL Y SECUNDARIOS).....	14
1.4. PLAN DE TRABAJO .....	14
1.5. METODOLOGÍA.....	15
1.6. FUENTES UTILIZADAS .....	17
1.7. CONTENIDO .....	17
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
2.1. DURABILIDAD DEL HORMIGÓN Y SUS CARACTERÍSTICAS.....	20
2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS DIFERENTES INSTRUCCIONES DE HORMIGÓN, REFERENTES A LA AFECCIÓN DEL AMBIENTE MARINO EN LAS ESTRUCTURAS.....	21
2.3. MECANISMOS DE DAÑO SOBRE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN DEBIDOS A LA CORROSIÓN .....	24
2.3.1. DEFINICIÓN DE CORROSIÓN.....	24
2.3.2. CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN .....	25
2.3.3. DESPROTECCIÓN DE LA ARMADURA.....	26
2.3.4. CORROSIÓN POR CLORUROS DEL ACERO.....	27
2.3.5. PREVENCIÓN A LA CORROSIÓN.....	28
2.4. ÁREAS DE AFECCIÓN POR AMBIENTE MARINO.....	30
2.5. PROPIEDADES DEL AGUA DE MAR.....	31
2.6. ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD .....	32
2.6.1. ESTRATEGIA DEL PROCESO DE INSPECCIÓN, REGISTRO Y DIAGNÓSTICO .....	33
2.6.2. PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO .....	34
2.6.3. ANÁLISIS PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	35
2.7. ESTUDIO DE PATOLOGÍAS Y DEFECTOS EN LAS CONSTRUCCIONES .....	38
2.7.1. INTRODUCCIÓN.....	38
2.7.2. PATOLOGÍAS DEBIDAS AL PROYECTO.....	39
2.7.3. PATOLOGÍAS DEBIDAS A LA EJECUCIÓN .....	42
<b>3. VULNERABILIDAD AL AMBIENTE MARINO .....</b>	<b>44</b>
3.1. DISTANCIA A LA COSTA.....	45
3.2. DIRECCIONES Y VELOCIDAD DEL VIENTO .....	45
3.3. SITUACIÓN RESPECTO AL MAR Y AL RESTO DE CONSTRUCCIONES (FRICCIÓN CON OBSTÁCULOS).....	46
3.4. TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES.....	46
3.5. MORFOLOGÍA GENERADA EN EL CRECIMIENTO URBANÍSTICO .....	47
3.6. “EDAD” DE LAS CONSTRUCCIONES .....	47
3.7. MATERIAL ESTRUCTURAL.....	48
3.8. TIPOLOGÍAS DE LA EDIFICACIÓN .....	49
3.9. REVESTIMIENTOS DE FACHADAS.....	52
3.10. HUECOS EN FACHADA .....	55
3.11. DETALLES Y DISEÑOS CONSTRUCTIVOS .....	56

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en  
Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

3.12.	ESTADO DE CONSERVACIÓN, MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN .....	58
<b>4.</b>	<b>ESTUDIO DE VULNERABILIDAD DE OROPESA DEL MAR.....</b>	<b>59</b>
4.1.	INTRODUCCIÓN .....	59
4.2.	DESCRIPCIÓN DE LA LOCALIDAD DE OROPESA DEL MAR .....	60
4.3.	PARÁMETROS DE VULNERABILIDAD .....	62
4.3.1.	DISTANCIA AL MAR DE LAS EDIFICACIONES .....	63
4.3.2.	DIRECCIONES Y VELOCIDAD DEL VIENTO .....	65
4.3.3.	SITUACIÓN RESPECTO A LA LÍNEA DE COSTA .....	66
4.3.4.	TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES.....	68
4.3.5.	MORFOLOGÍA DEL LITORAL.....	69
4.3.6.	“EDAD” DE LAS CONSTRUCCIONES .....	70
4.3.7.	MATERIAL ESTRUCTURAL.....	73
4.3.8.	TIPOLOGÍA URBANÍSTICA DE LA EDIFICACIÓN .....	74
4.3.9.	DISTRIBUCIÓN DEL EDIFICIO EN PLANTA .....	76
4.3.10.	TIPOLOGÍA DE FACHADA.....	77
4.3.11.	ALTURA DE LOS EDIFICIOS.....	78
4.3.12.	PORCENTAJE DE HUECOS EN FACHADA .....	81
4.3.13.	TIPOLOGÍAS Y DETALLES CONSTRUCTIVOS .....	82
4.3.14.	ESTADO DE CONSERVACIÓN, MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN.....	85
<b>5.</b>	<b>FICHAS DE INSPECCIÓN.....</b>	<b>93</b>
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS OBTENIDOS.....</b>	<b>98</b>
6.1.	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FRENTE AL AMBIENTE MARINO .....	98
6.2.	PRINCIPALES PATOLOGÍAS ENCONTRADAS EN LAS INSPECCIONES .....	102
6.2.1.	ANÁLISIS GENERAL DE EDIFICIOS DAÑADOS .....	102
6.2.2.	ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS .....	103
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>109</b>
<b>8.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>118</b>

## **INDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1. Factores desencadenantes y acelerantes de los procesos de corrosión en estructuras de hormigón armado. ....	25
Ilustración 2. Esquema de zonas de ambiente marino. ....	30
Ilustración 4. Disposiciones incorrectas y correctas en nudos de muros y losas de escalera de H.A. ....	41
Ilustración 5 Detalles de fisuración por solape inadecuado. ....	41
Ilustración 6. Lesiones provocadas por movimiento de la armadura en su colocación. ....	42
Ilustración 7. Tipos de exposición marina y variación del riesgo de corrosión de armaduras. ....	44
Ilustración 8. Efecto de la distancia en el depósito de los cloruros de la niebla salina. ....	45
Ilustración 9. Detalles de acabados para carpinterías. ....	57

## **INDICE DE IMÁGENES**

Imagen 1. Foto aérea de Oropesa del Mar. ....	12
Imagen 2. Fachada de edificio de Oropesa del Mar. ....	49
Imagen 3. Ejemplo de manzana cerrada. ....	50
Imagen 4: Ejemplo de manzana abierta. ....	50
Imagen 5: Ejemplo de manzana abierta. ....	51
Imagen 6. Edificio con problemas en fachada. ....	53
Imagen 7. Ejemplo de fachada con ladrillo caravista. ....	55
Imagen 8. Fotografía histórica de mediados del S.XX de Oropesa del Mar. ....	61
Imagen 9. Fotografía del estado actual de la costa de Oropesa. ....	62
Imagen 10. Rosa de los vientos y velocidad media. ....	65
Imagen 11. Toma aérea de la costa de Oropesa. ....	69
Imagen 12. Edad de los edificios. ....	72
Imagen 13. Edad de los edificios. ....	72
Imagen 14. Edificio en construcción. ....	73
Imagen 15. Edificio con planta escalonada. ....	76
Imagen 16. Plantas de los edificios estudiados. ....	80
Imagen 17. Edificio con patologías en fachada. ....	83
Imagen 18. Edificios con patologías en fachada. ....	84
Imagen 19. Edificio con patologías en frente de forjado. ....	84
Imagen 20. Edificio con mantenimiento eliminando la efluorescencia. ....	87
Imagen 21. Edificio con mantenimiento. Sustitución de embellecedor metálico. ....	87
Imagen 22. Edificio con mantenimiento. Pintura y acabados de fachada. ....	88
Imagen 23. Edificio con mantenimiento. Imprimación de frentes de forjado. ....	88
Imagen 24. Edificio con mantenimiento. Imprimación de frentes de forjado. ....	89
Imagen 25. Edificio con mantenimiento. Instalación de visera metálica y repintado para protección de frentes de forjado. ....	89
Imagen 26. Edificio con mantenimiento. Revestimiento metálico en frente de forjado para protegerlo de una mayor corrosión. ....	90

Imagen 27. Edificio con mantenimiento. Revestimiento metálico en fachada para proteger la estructura de la intemperie..	90
Imagen 28. Edificio con mantenimiento. Reparación de desconchamientos como consecuencia de la corrosión, Imprimación de adherencia, relleno con mortero reparador y posterior pintado..	91
Imagen 29 b). Índices de vulnerabilidad en cada edificio..	101
Imagen 30. Patologías en elemento estructural, Pérdida de recubrimiento de armadura. ....	103
Imagen 31. Patología en fachada, Humedad absorbida del terreno en revestimiento.....	105
Imagen 32. Patología en revestimiento de fachada, Fisuración de ladrillo en revestimiento. .	106
Imagen 33. Patología en fachada. Aparición de manchas en toda la fachada de la vivienda..	107

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Contenido de iones en el agua del mar.....	32
Figura 2. Evolución demográfica de Oropesa del Mar.....	60
Figura 3. Distancia al mar de edificios.....	63
Figura 4. Orientación de fachada principal .....	66
Figura 5. Ubicación de los edificios respecto a la costa .....	67
Figura 6. Precipitaciones y temperaturas .....	68
Figura 7. Periodo constructivo de los edificios estudiados .....	70
Figura 8. Tipología estructural de los edificios estudiados .....	74
Figura 9. Tipología urbanística de los edificios estudiados .....	75
Figura 10. Tipologías de los edificios estudiados .....	77
Figura 11. Tipologías de fachada de los edificios estudiados.....	78
Figura 12. Plantas de los edificios estudiados.....	80
Figura 13. Porcentaje de huecos en fachada de los edificios estudiados .....	81
Figura 14. Detalles constructivos en los edificios estudiados .....	82
Figura 15. Nº de edificios de nueva planta y rehabilitados a lo largo de los años.....	86
Figura 16. Conservación de edificios.....	91
Figura 17. Estado de las construcciones .....	92
Figura 18. Estado conservación.....	102
Figura 19. Patologías encontradas en los edificios .....	108

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Recubrimientos mínimos del hormigón .....	24
Tabla 2. Relación de valores para la obtención del Índice de Vulnerabilidad.....	36
Tabla 3. Comparativa de los Modificadores de comportamiento del índice de vulnerabilidad $V_i$ , para edificios de mampostería no reforzada. ....	37
Tabla 4. Vida útil de las edificaciones.....	71
Tabla 5. Parámetros y pesos de vulnerabilidad .....	99
Tabla 6. Índices de vulnerabilidad de los edificios.....	100

## **RESUMEN**

La vulnerabilidad de las construcciones frente a agentes externos, es un tema que cuenta con varias líneas de investigación. En el caso de la agresividad del ambiente costero, hay numerosos daños provocados por este fenómeno, que pueden llegar a causar problemas en una estructura, principalmente a causa de la corrosión en las armaduras. Por este motivo, el objeto de este trabajo consiste en el conocimiento de los agentes que pueden ocasionar daños en las edificaciones situadas junto al litoral marítimo y cuál es la reacción de los edificios frente a estas acciones.

Tras conocer dichos agentes y de qué manera afectan sobre una estructura, se exponen los diversos factores a tener en cuenta, que influyen en mayor o menor medida sobre el deterioro de los edificios y con ello, el estudio de la vulnerabilidad de los mismos. Variables como la distancia entre la orilla del mar y el edificio, la velocidad e intensidad del viento o el tipo de revestimiento de fachada, nos pueden dar a conocer información sobre la capacidad de la construcción a soportar las partículas agresivas del aerosol marino.

Una vez se han estudiado modelos de cálculo y conocimiento de vulnerabilidades en otros casos, como en análisis frente a sismos o inundaciones, se han trasladado dichos conocimientos y se ha adaptado al estudio frente al ambiente marino.

Para poder ejecutar dicho estudio, se ha llevado a cabo la inspección visual de una serie de edificaciones en la población costera de Oropesa del Mar. La información recogida se ha plasmado en unas fichas técnicas y que, posteriormente, se vuelcan los datos obtenidos sobre las tablas Excel. En cada edificio se analizan los factores de vulnerabilidad que se tienen en cuenta en este estudio y se aplica un valor para ponderar cada uno de estos agentes, según sean más o menos perjudiciales y que se podrían extrapolar a otras localidades costeras.

Tras conocer el estado de los edificios, se recogen los diferentes daños encontrados y las patologías que pueden sufrir si continúa la agresión, para posteriormente analizar una serie de actuaciones de mejora que puedan reducir en un futuro el impacto de los daños más habituales.

Por último, en las conclusiones se aportan los resultados obtenidos por el análisis de vulnerabilidad, en el que se muestra qué fenómenos o condicionantes generan mayores problemas sobre las construcciones, a causa de la agresividad que provoca el ambiente marino sobre estas.

### **Palabras clave:**

Ambiente marino, Vulnerabilidad, Corrosión, Edificio, Hormigón armado, Inspección, Patologías

## **RESUM**

La vulnerabilitat de les construccions front a agents externs, és un tema que compta amb diverses línies d'investigació. En el cas de l'agressivitat de l'ambient costaner, hi ha nombrosos danys provocats per este fenomen, que poden arribar a causar problemes en una estructura, principalment a causa de la corrosió en les armadures. Per este motiu, l'objecte d'este treball consisteix en el coneixement dels agents que poden ocasionar danys en les edificacions situades junt al litoral marítim i quina és la reacció dels edificis front a estes accions.

Després de conèixer els agents i de quina manera afecten sobre una estructura, s'exposen els diversos factors a tindre en compte, que influeixen en major o menor mesura sobre el deteriorament dels edificis i amb això, l'estudi de la vulnerabilitat dels mateixos. Variables com la distància entre la vora del mar i l'edifici, la velocitat i intensitat del vent o el tipus de revestiment de façana, ens poden donar a conèixer informació sobre la capacitat de la construcció a suportar les partícules agressives de l'aerosol marí.

Una vegada s'han estudiat models de càlcul i coneixement de vulnerabilitats en altres casos, com en anàlisi front a sismes o inundacions, s'han traslladat dits coneixements i s'ha adaptat a l'estudi front a l'ambient marí.

Per a poder executar el citat estudi, s'ha dut a terme la inspecció visual d'una sèrie d'edificacions en la població costanera d'Orpesa del Mar. La informació arreplegada s'ha plasmat en unes fitxes tècniques i que, posteriorment, es bolquen les dades obtinguts sobre les taules Excel. En cada edifici s'analitzen els factors de vulnerabilitat que es tenen en compte en este estudi i s'aplica un valor per a ponderar cada un d'estos agents, segons siguen més o menys perjudicials i que es podrien extrapolar a altres localitats costaneres.

Després de conèixer l'estat dels edificis, s'arrepleguen els diferents danys trobats i les patologies que poden sofrir si continua l'agressió, per a posteriorment analitzar una sèrie d'actuacions de millora que puguen reduir en un futur l'impacte dels danys més habituals.

Finalment, en les conclusions s'aporten els resultats obtinguts per l'anàlisi de vulnerabilitat, en el que es mostra quins fenòmens o condicionants generen majors problemes sobre les construccions, a causa de l'agressivitat que provoca l'ambient marí sobre estes.

### **Paraules clau:**

Ambient marí, Vulnerabilitat, Corrosió, Edifici, Formigó armat, Inspecció, Patologies

## **ABSTRACT**

The vulnerability of constructions against external agents is a subject that has several lines of research. In the case of the aggressiveness of the coastal environment, there are numerous damages caused by this phenomenon, which can cause problems in a structure, mainly due to corrosion in the reinforcements. For this reason, the purpose of this work is to find out about the agents that can cause damage to buildings located along the seafront and what the buildings' reaction is to these actions.

After knowing these agents and how they affect to the structures, factors to be taken into account are exposed, which influence to a greater or lesser extent the deterioration of buildings and with it, the study of their vulnerability. Variables such as the distance between the seashore and the building, the speed and intensity of the wind or the type of facade, can give us information on the ability of the construction to resist the aggressive particles of the marine spray.

Once calculation models and knowledge of vulnerabilities have been studied in other cases, such as analysis against earthquakes or floods, this knowledge has been transferred and adapted to the study against the marine environment.

In order to carry out this study, a visual inspection of a series of buildings in the coastal town of Oropesa del Mar has been carried out. The information collected has been reflected in technical sheets and, subsequently, the data obtained on the Excel tables. In each building, the vulnerability factors that are taken into account in this study are analyzed and a value is applied to weigh each of these agents, depending on whether they are more or less harmful and that could be extrapolated to other coastal localities.

After knowing the state of the buildings, the different damages found and the pathologies that may be suffered if the aggression continues are collected, and then a series of improvement actions that may reduce the impact of the most common damages in the future are analyzed.

Lastly, the conclusions provide the results obtained from the vulnerability analysis, which shows which phenomenon or constraints generate the greatest problems on the buildings, due to the aggressiveness caused by the marine environment on them.

### **Key words:**

Marine environment, Vulnerability, Corrosion, Building, Reinforced concrete, Inspection, Pathologies

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en  
Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Justificación del trabajo.**

El presente trabajo analiza el estado en el que se encuentran las edificaciones de una localidad costera como es Oropesa del Mar (Castellón de la Plana), así como también el efecto que produce el ambiente marino sobre dichas construcciones. De esta forma se busca conocer la vulnerabilidad en esta área de estudio y aportar una serie de mejoras a la obra nueva o también al mantenimiento del parque inmobiliario y así pueda ser adoptada en otras zonas de litoral con características similares.

Incluye la descripción de los mecanismos de daño y estudio de la evolución de las normativas, en referente a la afección del ambiente marino sobre las obras, generalmente de hormigón armado. Para el estudio de la vulnerabilidad de los edificios se van a tomar datos de una zona de Oropesa, analizando las características de unas 110 construcciones por medio de toma de datos in situ a través de unas fichas de inspección, las cuales incluyen características generales de la edificación y las patologías presentes en las mismas. Se reunirán los parámetros de los edificios y las características presentes en la localidad que produzcan un deterioro de las construcciones (como la dirección del viento y velocidad, orografía, precipitaciones...) para poder obtener resultados sobre la vulnerabilidad de los edificios en función de su tipología, altura, año de construcción, etc.

Se aportarán una serie de imágenes en planta donde aparezcan referenciados los edificios estudiados, en los que a través del programa informático *Arcgis* se recogerá la información presente en el catastro y en Terrasit, para poder mostrar de forma clara los parámetros que mayor vulnerabilidad aportan a las edificaciones.

Se estudiarán los datos obtenidos para poder aportar unas conclusiones de vulnerabilidad, que servirán como referencia para futuras actuaciones en zonas costeras y que ayudarán a conocer el comportamiento de las construcciones frente a la afección del aerosol marino.

Tras el crecimiento turístico que han sufrido las costas del Mar Mediterráneo durante la segunda parte del siglo XX, se considera necesario hacer hincapié en el estado de sus estructuras más cercanas al mar para conocer la evolución que han experimentado cada una de ellas en función de sus características. La resultante ha sido un turismo masivo que se ha implantado a lo largo de todo el territorio Este español y liderado en la práctica no por emprendedores turísticos, sino por promotores urbanísticos que han sido realmente los creadores del «urbanismo turístico». El aumento del turismo en busca del disfrute de la playa y el mar generó una demanda elevada de alojamientos situados junto al litoral, y con ella, se produjo un incremento constante en el sector de la construcción de viviendas de segunda residencia.

En determinadas localidades, se da la situación en la que la gran mayoría de viviendas tenga esta finalidad, es decir, que únicamente estén ocupadas por sus propietarios durante los periodos de vacaciones. En las últimas décadas, la localidad que se va a llevar a cabo en este estudio, Oropesa del Mar, ha experimentado un incesante incremento demográfico. Este aumento de la población

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

ha originado un auge extraordinario en una actividad principal, la promoción inmobiliaria y el sector de la construcción, que actualmente son uno de los pilares básicos de su economía. Se trata de un claro ejemplo de población que ha sufrido un importante crecimiento de infraestructuras dedicadas al turismo, en forma de edificios de apartamentos.

Como se ha comentado antes, el objetivo de este trabajo es conocer las condiciones en las que se encuentran estas edificaciones costeras, pero tratando con especial atención el grado de afección que genera el ambiente marino sobre dichas infraestructuras. La mayoría de estas se ejecutaron con hormigón armado, por lo que las armaduras son especialmente vulnerables en este ambiente más agresivo debido a la afección que provoca el aerosol marino.

El análisis que se va a llevar a cabo resulta de gran relevancia debido a la gran cantidad de viviendas de segunda residencia que cuenta Oropesa dentro de su parque inmobiliario total.

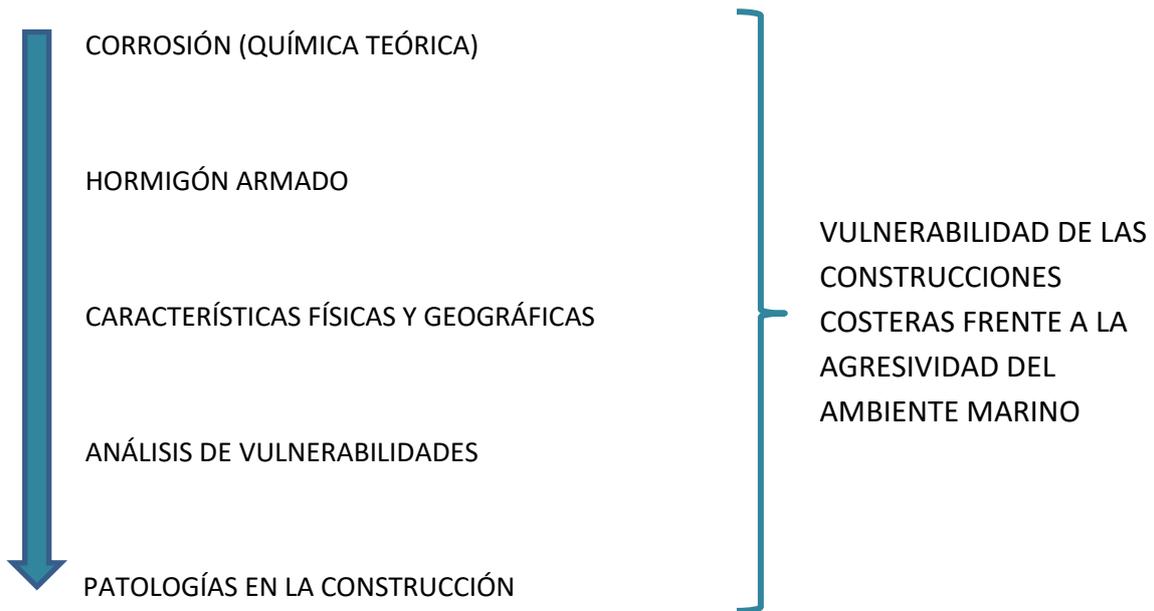
Únicamente viendo la distribución de las infraestructuras en el municipio se pueden identificar aquellas que han sido construidas durante los últimos años (boom inmobiliario) para generar oferta de cara al turismo, de aquellas que pertenecen al casco histórico y se encuentran más alejadas de la costa. El emplazamiento donde se encuentran los edificios tiene un carácter importante a la hora de estudiar la vulnerabilidad del mismo, y será necesario conocer los antecedentes y las características generales de la zona donde se ubica.



Imagen 1. Foto aérea de Oropesa del Mar. Fuente: Google Earth

## 1.2. Antecedentes

Al tratarse de una línea de investigación bastante joven, apenas hay información referente a la afección del ambiente marino sobre estructuras costeras, debido a la reciente aparición de este modelo de turismo. Como consecuencia, se han tenido que buscar fuentes relacionadas con este tema para posteriormente relacionarlas entre ellos.



En el estudio de la corrosión, se ha seguido información de artículos relacionados con la corrosión en ambientes agresivos, aunque orientados al sector químico y en una línea de investigación mucho más teórica y ha servido para conocer en profundidad el proceso de ataque químico sobre el acero.

Para conocer el comportamiento del hormigón armado frente a este problema se han analizado diferentes instrucciones de hormigón, que se comentan a continuación en el marco teórico.

Como el trabajo se basa en conocer la vulnerabilidad de una localidad, se ha seguido el modelo de análisis frente a sismo (adaptado a las características en ambiente marino) de otras localidades en Portugal y del reciente estudio que se ha hecho en Lorca como consecuencia del terremoto de 2011.

En el caso de las patologías de los edificios, se han analizado de forma exhaustiva aquellas que se han encontrado en las inspecciones de los edificios para poder conocer la gravedad que puede llegar a alcanzar.

Por último, se debe resaltar que este estudio adapta la metodología utilizada en la siguiente tesis doctoral: “Efecto del ambiente marino en edificios de segunda residencia en la costa valenciana. Influencia del crecimiento urbanístico y sistemas constructivos”. (Moreno, 2016)

En este trabajo se trata el estudio de las construcciones, tanto de patologías y afección del aerosol, como de la evolución urbanística que ha tenido lugar en los últimos 50 años, analizado en un ámbito regional, incluyendo muchas de las localidades costeras de la Comunidad Valenciana.

Se trata del único estudio que se ha encontrado que aporta información al respecto del estado del parque inmobiliario de las zonas de costa en la región de Valencia, un sector que ha crecido a una gran velocidad y del que se debe conocer su evolución ya que da servicio y empleo a un gran número de población.

### **1.3. Objetivos (principal y secundarios)**

El objetivo principal de este trabajo es analizar la vulnerabilidad frente al ambiente marino de las edificaciones situadas en la costa de Oropesa del Mar.

Para alcanzar este objetivo principal, se han establecido los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar cómo afecta el ambiente marino a una construcción con estructura de HA.
2. Estudiar las características físicas, medioambientales y urbanísticas de Oropesa del Mar.
3. Determinar los parámetros a analizar en los edificios inspeccionados.
4. Inspeccionar visualmente los edificios de Oropesa del Mar para localizar las patologías producidas por el ambiente marino.
5. Relacionar las patologías derivadas del ambiente marino con los parámetros de la población analizados.
6. Establecer la vulnerabilidad de los edificios estudiados frente al ambiente marino.

### **1.4. Plan de trabajo**

A continuación, se describe el orden de elaboración del trabajo.

- 1º Estudio de los mecanismos de daño del ambiente marino sobre las estructuras.
- 2º Análisis de las modificaciones que han experimentado las instrucciones de hormigón a lo largo de los años en relación a la afección marítima.
- 3º Estudio de procedimientos y modelos de análisis de vulnerabilidad que se han empleado en otro tipo de acciones dañinas sobre las construcciones, como el sismo o las inundaciones.
- 4º Determinación de los parámetros físicos, medioambientales y urbanísticos implicados en la vulnerabilidad de las construcciones costeras.

5º Valoración de las características presentes en Oropesa del Mar que afecten a las construcciones por medio del aerosol marino.

6º Realización de las inspecciones técnicas in situ de los edificios a estudiar y análisis de las patologías encontradas.

7º Valoración de la información recogida en las inspecciones y estudio de vulnerabilidades encontradas.

8º Propuesta de mejoras en futuras actuaciones y conclusiones del estudio.

## **1.5. Metodología**

La metodología seguida para conocer el estado en el que se encuentran las edificaciones en Oropesa del Mar y su vulnerabilidad, está basada en la determinación de una serie de parámetros de las edificaciones para que, una vez ponderados, proporcionen un valor que permita comparar la vulnerabilidad de dichas construcciones frente al ambiente marino.

El punto de partida del presente trabajo es la inspección visual de los edificios con el fin de obtener la información necesaria para determinar los parámetros considerados. En cada ficha de inspección queda reflejado todo aquello que se ha considerado, basado en la literatura científica consultada, que puede vulnerar el estado de las construcciones en mayor o menor medida.

En primer lugar, se deben conocer datos como el año de construcción, la tipología estructural, las alturas, la superficie de fachada que abarca el propio edificio, etc. En segundo lugar, se realiza una inspección con mayor profundidad en busca de daños en fachada, frente de forjado o pilares y, por último, se trata de averiguar si las construcciones han sufrido algún tipo de mantenimiento o rehabilitación, para determinar el estado de conservación del edificio

Los datos tomados se recogen en una hoja de cálculo de forma que sea posible ponderar cada valor de cada edificio y así determinar su vulnerabilidad al ambiente marino.

Además, también se utiliza el software de georreferenciación ArcGis, donde se introducen los mismos parámetros para visualizarlos en un formato gráfico que favorezca su interpretación. A continuación, se describe el programa y el procedimiento empleado.

### **MODELO ARCGIS**

El ArcGIS es un conjunto de softwares que permite recoger información geográfica y plasmarla en un formato visual, como pueden ser imágenes en 2D y 3D de la zona de actuación. De esta forma, permite analizar una gran cantidad de datos y observarlos gráficamente para poder comprender mejor el territorio y ayuda a la toma de decisiones más inteligentes y rápidas.

Para la elaboración de este modelo, se levanta la cartografía catastral, en concreto la capa de construcciones en función de los volúmenes edificados a partir de los archivos descargados en la sede central del catastro y de Terrasit (fuente de archivos del instituto cartográfico de la Comunidad Valenciana).

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

Del portal de Terrasit se descargan archivos de cartografía para la localidad de Oropesa del Mar, con el apoyo de la ortofoto (imagen de satélite) como capa base y un archivo mdt como capa tridimensional que refleje el territorio, asignándole a cada pixel unas cotas reales.

Del portal general del Catastro, se descarga el archivo correspondiente a los datos de las edificaciones en la provincia de Castellón.

Al introducir la ortofoto de la localidad y el archivo del catastro, se ha apreciado como todas las poligonales correspondientes a las construcciones cuadran con la misma ubicación en ambos archivos.

El archivo del catastro cuenta con una gran cantidad de datos, como las coordenadas, la tipología y el número de alturas de los edificios. Debido a que la altura viene reflejada en números romanos, el programa tiene un sistema para modificar estos parámetros, generando unas líneas de programación y así trabajar con ellos en un formato más sencillo.

Como en un principio se han importado todas las parcelas existentes en la localidad, para que el programa muestre los edificios se ha de generar un comando que haga referencia únicamente a aquellos cuya altura sea mayor que 0. Asimismo, como se va a realizar un estudio de una zona limitada de la población, esto es el área de la playa de la Concha, se eliminan todos aquellos que no correspondan buscando la referencia catastral de los mismos.

Para que el software muestre un tamaño tridimensional aproximado de los edificios, se ha indicado que la separación entre forjados es de 3 metros, lo cual es una simplificación adoptada para estimar la altura del edificio en función del número de plantas, que es el dato que se dispone.

Para mostrar más parámetros de forma gráfica en el programa, se ha introducido de forma manual, la edad de las construcciones y el estado en el que se encuentra cada una de ellas en función de las inspecciones visuales que se han realizado. Para ello, en primer lugar, se han dividido varias franjas de edades de los edificios y se le ha aplicado un valor a cada una de ellas (por ejemplo: anteriores a 1968 se le aplica un 1. De 1968-1980 se le aplica un 2 y así sucesivamente). A continuación, se sigue el mismo procedimiento con el estado de las construcciones, referenciando del 1 al 5 según se encuentren en mejor o peor estado.

Para ello, se introducen en el Arcgis dos nuevas columnas de datos y se busca la referencia catastral de cada uno de ellos para conocer exactamente donde importar el año de construcción y las condiciones en las que se encuentra cada infraestructura.

Por último, se le asigna a cada valor una representación cromática, para poder identificar de una forma gráfica los parámetros estudiados de los edificios en Oropesa del Mar y mostrar rápidamente cada característica de la localidad costera.

## **1.6. Fuentes utilizadas**

La búsqueda de información para la realización de este trabajo, siempre se ha basado en 4 factores: la vulnerabilidad en las construcciones, el ambiente marino, el estudio y de patologías en edificios y la recopilación de datos relacionados con la localidad que se analiza.

La principal fuente de información relacionada con el marco teórico y el estado del arte ha sido la búsqueda de trabajos académicos a través de “Google”, “Google Scholar” y en algunos casos “SCOPUS”. Se han considerado Tesis doctorales, artículos científicos, Informes emitidos por comunidades autónomas e incluso trabajos de colegios profesionales.

También se han tomado como referencia varios trabajos finales de grado o de master de la biblioteca online de la UPV, principalmente de la escuela de Ingeniería de la Edificación, donde se analizan patologías en fachadas y estructuras de edificios, que también han aparecido en este trabajo.

Para encontrar datos concretos del municipio objeto de estudio, aparte de los obtenidos a través de las inspecciones visuales in situ, se ha tomado información del ayuntamiento de Oropesa del Mar, de la sede electrónica del Catastro y de Terrasit para acumular información genérica de los edificios. La dirección y velocidad del viento la ha proporcionado la web de puertos del estado, tomando los datos de la boya más cercana a la Playa de la Concha, situada a unos 1700 m de la costa (se obtiene la media de los datos históricos tomados entre 1958 y la actualidad, reflejado en La Rosa de los vientos), así como la concentración de salinidad, tomada desde la boya de Tarragona.

## **1.7. Contenido**

Este apartado recoge una breve descripción de los distintos puntos que recoge este trabajo, mostrando las ideas más importantes y sintetizando los contenidos.

- Marco teórico: Describe las principales características del hormigón armado relacionadas con la durabilidad de las estructuras, concretamente con la capacidad de éste para resistir los daños producidos por el ambiente marino.

Además, para poder conocer la evolución del estado del conocimiento en este aspecto, se detallan los puntos de las instrucciones de hormigón existentes a lo largo de los últimos años y como se ha ido concretando la necesidad de adaptar las normativas para proteger el hormigón armado frente a ambientes agresivos, como es el caso del aerosol marino

- Estado del arte: En este apartado se revisa la literatura científica relacionada con los procesos de corrosión del acero en el hormigón armado, especialmente los relacionados con el ión cloruro, que son los más frecuentes en las edificaciones cercanas a la costa. Para ello se debe conocer la localización de la estructura (si está en contacto directo con el agua siempre, parcialmente o nunca), las propiedades del agua salina y las reacciones que aparecen al entrar en contacto directo la humedad y las sales con el hormigón armado.

En la segunda parte de este apartado, se revisan y analizan los métodos de análisis de vulnerabilidad frente a diferentes riesgos, especialmente frente al riesgo sísmico. De esta forma, se estudia la metodología utilizada en estos casos y se compara con la utilizada en el caso particular del riesgo de corrosión de las estructuras de los edificios expuestos al ambiente marino. Para ello, se dan unas directrices a seguir para realizar un correcto análisis y obtener unos resultados finales válidos.

- Parámetros que influyen en la vulnerabilidad al ambiente marino: Al tratarse de un tema de estudio con pocos precedentes, no se sabe con certeza el grado de importancia que tiene cada parámetro, por lo que se decide estudiar un gran número de variables de tipo ambiental, geográfico, urbanístico y estructural para poder analizar con mayor exactitud la respuesta de las edificaciones frente al ambiente marino.

Por otra parte, si que está comprobado, por ejemplo, que edificaciones muy próximas a la costa son mucho más inestables a este factor, pero no se conoce la interrelación entre los diferentes parámetros, ni cómo actúan simultáneamente edad, ubicación, condiciones ambientales, etc. En este apartado se muestra y se explica cómo pueden afectar todos los parámetros a las construcciones.

- Estudio de la localidad de Oropesa del Mar: Este apartado recoge la información asociada a los parámetros de vulnerabilidad existentes en la población. En primer lugar, se describe la rápida progresión urbanística que sufre en la última mitad de siglo XX y, posteriormente se analiza cada característica incluyendo el número de edificios que sufren estos factores, en mayor o menor medida dependiendo de sus condiciones. Al final de cada apartado se aplican unos valores de vulnerabilidad dependiendo de la capacidad del edificio para soportar los agentes agresivos y que se han obtenido a partir de la importancia que se le da a cada uno de ellos.

- Análisis de las patologías observadas en los edificios: Tras la realización del trabajo de campo en el que se inspeccionan todos los edificios, se completan unas fichas que recogen toda la información asociada a cada una de las construcciones como la localización respecto al mar, número de alturas, estado de la construcción y diferentes

imágenes del edificio. Tras observar los análisis estadísticos que aportan dichas fichas, se examinan las diferentes patologías y se estudian aquellas que aparecen con mayor frecuencia. Con los resultados obtenidos, se hace una aproximación de qué problemas pueden surgir a largo plazo como consecuencia de la presencia del aerosol marino.

- Estudio de la vulnerabilidad de los edificios: Una vez se ha recogido toda la información respecto a los edificios, se aplica la fórmula correspondiente para determinar la vulnerabilidad de los edificios. Para obtener el resultado final, se establecen diferentes hipótesis, de forma que se ponderen los parámetros determinados en función del trabajo de campo.
- Conclusiones: Al tratarse de un tema sobre el que no existen muchas referencias bibliográficas, este estudio pretende despertar el interés en este ámbito de aplicación de la ingeniería civil. En este apartado se recogen las conclusiones de este trabajo, así como diferentes líneas de investigación relacionadas con la vulnerabilidad de las estructuras, dentro del campo de mantenimiento y la conservación de estructuras, que ayuden a prevenir la aparición de patologías en las construcciones de hormigón armado en zonas próximas a la costa.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Durabilidad del hormigón y sus características**

Tal y como se describe en la EHE08, "la durabilidad de una estructura de hormigón es su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural". Tal y como explica la norma, el hormigón puede ser dañado de formas diversas a la sollicitación de cargas; por consiguiente, en el presente apartado se va a tratar de qué modo afecta el ambiente marino sobre las construcciones de hormigón armado y que consideraciones han de tenerse en cuenta para que el daño por esta acción sea el menor posible en las diferentes fases de proyecto, ejecución y uso de la estructura.

Habitualmente las medidas preventivas suelen ser las menos costosas, pero más eficientes con las que proteger las construcciones frente a los diferentes agentes agresivos, por lo que la durabilidad debe estudiarse y tenerse en cuenta siempre en las redacciones de proyecto, y como consecuencia, el medio en el que se va a situar.

El hormigón es una estructura uniformemente heterogénea y, en general, en estructuras en ambiente marino está compuesto por cemento, agua, arena, áridos y reductores de agua. Una de las características más importante de un hormigón en un ambiente marino, en su estado endurecido, es la permeabilidad del mismo. Los hormigones que presentan una baja permeabilidad elevan la probabilidad de que una estructura marina se comporte adecuadamente a lo largo de la vida útil del proyecto. Por lo tanto, la impermeabilidad se puede relacionar directamente con la durabilidad y ésta con el concepto de sostenibilidad (IECA, 2013). Esta característica del material es difícil de medir debido a los diferentes aspectos que influyen sobre ella; en la permeabilidad de una estructura se tiene en cuenta la calidad del vibrado, el curado, así como también el tipo de dosificación del hormigón.

Las estructuras marinas construidas en hormigón son duraderas a condición de:

- Haber elegido un cemento adaptado a la normativa actual (EHE - 08) suficientemente dosificado.
- Haber elegido una relación a/c no muy elevada.
- Haber vibrado bien el hormigón y haber asegurado un curado suficiente.
- Para el hormigón armado, el respeto de los recubrimientos recomendados es un imperativo para evitar la corrosión de las armaduras. (Lapuente, et al)

Sin embargo, estas consideraciones no siempre se han tenido en cuenta de la misma forma, ya que a lo largo de los años las normativas se han vuelto más específicas y restrictivas en relación a la durabilidad del hormigón y la protección del mismo frente a los agentes externos.

## **2.2. Descripción de las diferentes instrucciones de hormigón, referentes a la afección del ambiente marino en las estructuras**

Las viviendas que se han estudiado en este trabajo fueron construidas a lo largo de los últimos 60 años y la gran mayoría están compuestas por hormigón armado. Por lo tanto, para conocer el estado de todas ellas se considera relevante conocer las diferentes normativas que se siguieron para llevar a cabo los proyectos de ejecución y así saber de qué modo podrán ser más vulnerables, unas u otras, teniendo en cuenta los requisitos seguidos en las distintas instrucciones de hormigón.

- **Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (año 1968)**

Dentro del artículo 13 “COLOCACIÓN DE LAS ARMADURAS” se encuentra el Art. 13.3” Distancias a los paramentos”, donde refleja todo lo relacionado con los recubrimientos:

- 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:
  - Un centímetro, si los paramentos de la pieza van a ir protegidos;
  - Dos centímetros, si los paramentos de la pieza van a estar expuestos a la intemperie o a condensaciones (cocinas, cuartos de baño, etc.) o si van a estar en contacto permanente con el agua (depósitos, tuberías, etc.).
  - Dos centímetros en las partes curvas de las barras.
- c) En las estructuras expuestas a ambientes químicamente agresivos o a peligro de incendio, el recubrimiento de las armaduras vendrá fijado por el proyectista.
- d) La máxima distancia libre admisible entre las armaduras exteriores y las paredes del encofrado es de cuatro centímetros. Si es necesario un mayor espesor de recubrimiento deberá disponerse una malla de reparto complementaria, próxima al paramento.

En la actualidad se tendría en cuenta el apartado c) por encontrarnos en un ambiente química agresivo, sin embargo, es difícil conocer si a finales de los años 60 se tenía en cuenta el ambiente marino como potencialmente dañino para el estado del hormigón ya que no aparece nombrado en la norma.

En el artículo 22 de esta norma se trata la durabilidad del hormigón, pero de forma muy breve. Explican que deberán tenerse en cuenta el tipo de conglomerante en función del agente agresor y que se autoriza el uso de aditivos para lograr una mayor homogeneidad, compacidad e impermeabilidad. Para prevenir la corrosión de las armaduras se utilizarán conglomerantes con objeto de reducir el peligro de fisuración y capaces de soportar sales solubles.

- **Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado (año 1973)**

De la misma forma que en la instrucción anterior, esta norma también se refiere a los parámetros sobre la disposición de las armaduras en el artículo 13. Para el caso de recubrimientos en ambientes especiales se sigue el mismo procedimiento que en la instrucción anterior, es decir, vendrá fijado por el criterio del proyectista.

Se puede comprobar como el apartado 13.3 de “Distancia a los paramentos” no varía respecto a la guía anterior, ni tampoco en aspectos relacionados con la durabilidad y la corrosión de las armaduras; por lo que en la diferencia de 5 años entre ambas no hubo cambios significativos en estos aspectos.

- **Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado EH-80 (año 1980)**

Sigue la misma normativa que en las instrucciones anteriores para el caso de recubrimientos en ambientes agresivos, sin embargo, aparecen los comentarios, y el relacionado con el artículo 13.3 “Distancia a los paramentos” dice así:

“Por lo que respecta a los 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. Debe tenerse en cuenta que la mejor protección para la armadura 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 este sea.”

Como queda explicado en el párrafo anterior, es la primera vez que las aguas del mar aparecen tratadas como ambiente químicamente agresivo en la norma, lo que ya nos asegura definitivamente que se debe seguir el apartado c) en el que el recubrimiento queda a disposición del criterio del proyectista.

- **Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado EH-88 (año 1988)**

Esta normativa ya cuenta con bastantes semejanzas con respecto a la EHE actual debido a la especificación de los diferentes ambientes que pueden encontrarse y así estudiar mejor la durabilidad de las construcciones. De nuevo en el artículo 13.3 “Distancia a los paramentos” diferencia los tipos de ambientes. Para el caso que nos ocupa, en Ambiente III (Estructuras en atmósfera industrial o marina, o en contacto con terrenos agresivos o con aguas salinas o ligeramente ácidas) el recubrimiento no será inferior a 40 mm.

También adjunta una tabla de los recubrimientos mínimos en función del  $f_{ck}$  expresado en  $kp/cm^2$ . A mayor valor de  $f_{ck}$ , el recubrimiento podrá ser menor.

\* La instrucción EH-82 es una breve modificación de la EH-80 en la que no se tratan aspectos relacionados con este trabajo

Esta normativa también marca las limitaciones de abertura de fisura en función de los ambientes. En el caso de Ambiente III, la anchura característica de fisura ( $w_k$ ) debe ser menor a 0,1 mm, la restricción más grande por tratarse del ambiente más agresivo de los 3 que marca la norma.

- **Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado EH-91 (año 1991)**

Esta normativa sigue los mismos puntos que en la EH-88 en cuanto a la diferenciación de ambientes y valores de recubrimientos que se han comentado en el apartado anterior, especificando que para un ambiente de tipo III los recubrimientos mínimos no podrán ser nunca inferiores a 25 mm. aunque tenga un valor muy alto de  $f_{ck}$ .

Los ambientes comienzan a tener gran importancia en la selección de áridos y en las limitaciones de la relación agua/cemento.

- **Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado EHE-99 (año 1999)**

En esta versión más actualizada, aparece el concepto de margen de recubrimiento en función del tipo de recubrimiento y del nivel de control de ejecución, que se le suma al recubrimiento mínimo especificado. Además, la normativa amplía el número de ambientes posibles y se subdividen dentro de cada grupo, generando una mayor precisión a la hora de elegir el adecuado. Para el caso del ambiente marino, el ambiente III se subdivide en:

- IIIa: Corrosión por cloruros. Elementos de estructuras marinas, por encima del nivel de pleamar y elementos exteriores de estructuras situadas en las proximidades de la línea costera.
- IIIb: Elementos de estructuras marinas sumergidas permanentemente por debajo del nivel mínimo de bajamar.
- IIIc: Elementos de estructuras marinas situadas en la zona de carrera de mareas.

Las estructuras que se van a estudiar en el trabajo corresponden al ambiente IIIa ya que todas se sitúan a menos de 5 km de distancia de la línea costera y ninguna está en contacto directo con el mar. Como muestra la siguiente tabla, que relaciona los recubrimientos mínimos con la resistencia característica del hormigón, los ambientes IIIa y IIIb son los que permiten un menor recubrimiento de los tres.

Tabla 1. Recubrimientos mínimos del hormigón

Resistencia característica del hormigón [N/mm <sup>2</sup> ]	Tipo de elemento	RECUBRIMIENTO MÍNIMO [mm] SEGÚN LA CLASE DE EXPOSICIÓN (**)									
		I	Ila	Ilb	IIla	IIlb	IIlc	IV	Qa	Qb	Qc
$25 \leq f_{ck} < 40$	general	20	25	30	35	35	40	35	40	(*)	(*)
	elementos prefabricados y láminas	15	20	25	30	30	35	30	35	(*)	(*)
$f_{ck} \geq 40$	general	15	20	25	30	30	35	30	35	(*)	(*)
	elementos prefabricados y láminas	15	20	25	25	25	30	25	30	(*)	(*)

Fuente: EHE 08

## 2.3. Mecanismos de daño sobre las estructuras de hormigón debidos a la corrosión

### 2.3.1. DEFINICIÓN DE CORROSIÓN

La corrosión es el ataque destructivo de un metal por reacción química o electroquímica con su medio ambiente. La corrosión se puede desarrollar a través de dos mecanismos distintos:

- Oxidación directa (o corrosión seca): Ocurre cuando el metal sufre una temperatura elevada sin la presencia de agua.
- Corrosión con intervención de una solución acuosa (corrosión húmeda). En este caso, el mecanismo que se produce incluye reacciones químicas diferentes, con unas zonas de disolución del metal (zonas anódicas) y otras en que permanece inalterado (zonas catódicas), originándose de esta forma, una pila cuyo funcionamiento requiere que exista un circuito eléctrico cerrado que incluye el ánodo, el cátodo, la conexión metálica entre ambos y el propio electrolito. Por ello, a este mecanismo se le denomina electroquímica.

Además, también existe otro tipo de clasificación de corrosión; generalizada o galvánica. La primera genera daños a lo largo de toda la superficie del metal debido a la reducción de alcalinidad del hormigón, en cambio, la galvánica sufre principalmente el ataque por cloruros, aunque también puede ocasionarse por sulfatos y sulfuros.

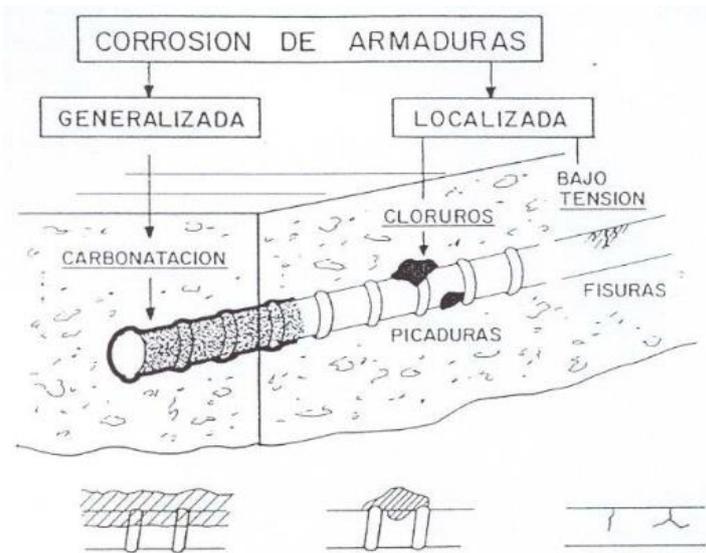


Ilustración 1. Factores desencadenantes y acelerantes de los procesos de corrosión en estructuras de hormigón armado. Fuente: González, J.

La cantidad de metal que se corroe es proporcional a la intensidad (I) de la corriente que se produce (Amperios) y al tiempo transcurrido en segundos, según la ley de Faraday.

$$\text{Número de equivalentes-gramos} = \frac{I \times t}{96493} \quad (1)$$

### 2.3.2. CORROSIÓN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

El hormigón armado es el material más utilizado en las estructuras que vamos a tratar de estudiar en este trabajo, por lo tanto, conviene conocer correctamente como puede verse afectado por procesos corrosivos, conociendo su composición y sus propiedades.

El acero en forma de armaduras que contiene el hormigón, es susceptible de ser corroído debido a que el hormigón no es un material perfectamente impermeable. Esto significa que existen puntos débiles como fisuras o poros por los que puede verse dañado y reducir su capacidad resistente. Estas discontinuidades se deben a que el conglomerado no es homogéneo en su totalidad, sino que dependen de factores como la cantidad de agua y cemento empleado para su elaboración (cuanto menor es la relación agua/cemento mayor es la concentración de granos en la pasta por lo que hay una menor cantidad de huecos para ser ocupados) además del buen vibrado y secado de la pieza.

La porosidad del hormigón puede dividirse en dos tipos; por una parte, los poros situados en la matriz del cemento y por otra, aquellos que se sitúen en la interfaz entre los áridos y el cemento. En un principio los poros que forman el espacio entre los granos de cemento estaban llenos de agua y debido a su pequeño tamaño son prácticamente excluidos y no se tienen tanto en cuenta. Por otra parte, los poros que se han creado entre el cemento y los áridos tienen una importancia

mayor en el estudio de la durabilidad ya que pueden tener un tamaño 50 veces mayor a los comentados en primer lugar. Sin embargo, no tiene sentido hablar de la importancia de la porosidad sin antes citar la interconexión entre poros, ya que sin esto no se produce agresión sobre el hormigón. La porosidad principal es aquella que cuenta con poros interconectados entre sí, dando lugar al movimiento de partículas entre ellos debido a la formación de un entramado por el que trascurren agentes nocivos para el hormigón ya que tienen contacto directo con el exterior.

Concretamente, la corrosión del acero en estructuras de hormigón es un proceso electroquímico. Las pilas de corrosión pueden generarse de las dos siguientes formas:

- Las pilas se pueden formar cuando se colocan dos metales distintos en el interior del hormigón, como las armaduras de acero y los conductos de aluminio, o en ocasiones cuando hay grandes variaciones en las propiedades superficiales del acero.
- Las pilas también podrían formarse a causa de las distintas concentraciones de los iones disueltos próximos al acero, como podría ser el oxígeno o los cloruros.

### 2.3.3. DESPROTECCIÓN DE LA ARMADURA

El proceso de corrosión de las armaduras tiene una fase previa a la que se le llama desprotección o período de iniciación, en el que el acero termina careciendo de defensa frente a agentes nocivos para la estructura y a partir de la cual comienza el proceso de corrosión. La eliminación de esta defensa puede producirse por:

- Pérdida de alcalinidad del hormigón:

El CO<sub>2</sub> que contiene el aire se introduce en las fisuras y poros capilares que se encuentran en el hormigón y en presencia de humedad reacciona con el hidróxido cálcico del cemento, formando así carbonato cálcico (carbonatación). Esta reacción genera una disminución del pH del hormigón, desde los 12-13 que tiene habitualmente, hasta valores inferiores a 9, provocando la despasivización del acero y con ello la posible entrada de elementos que dañen la estructura mediante el proceso de corrosión. La carbonatación por sí sola no afecta a las propiedades estructurales del hormigón; hasta que no cubre el espesor que separa el paramento exterior de la armadura no aparece peligro. Cuando alcanza la armadura comienza el proceso de corrosión de la misma siempre y cuando esté presente la cantidad necesaria de humedad y oxígeno suficientes.

La velocidad a la que se produce la carbonatación depende de varios factores como la permeabilidad del hormigón, la humedad relativa (la velocidad es máxima cuando este valor se encuentra entre 60 y 75% ya que si el valor es menor no hay suficiente agua, pero si es mayor, el agua disminuye la velocidad de propagación del dióxido de carbono a través de los orificios del hormigón) y diferentes coeficientes en función de la resistencia característica del hormigón y el ambiente.

- Eliminación de la capa pasiva por el efecto de cloruros:

Este tipo de agresión es el más común en ambiente marino y al contrario que en la carbonatación, este proceso se produce en puntos localizados, en los que los cloruros producen una serie de “picaduras” sobre la superficie del acero; en pequeños puntos donde se produce la despasivización.

Como el efecto de los cloruros se considera la mayor fuente de agresividad contra el hormigón armado en el tipo de ambiente que estamos tratando, a continuación, va a tratarse el proceso con mayor detenimiento.

#### 2.3.4. CORROSIÓN POR CLORUROS DEL ACERO

El ion cloruro forma más del 50% de las sales presentes en el agua de mar y por lo tanto, se trata del agente químico más agresivo que ataca el hormigón en el ambiente marino. El ion perfora el material a base de picaduras, generando pequeños orificios cuando alcanza el metal después de haber penetrado a través de los poros. El tamaño de los hoyos producidos es muy variado por lo que puede resultar difícil de estudiar y terminar sufriendo fallos inesperados debido a su naturaleza localizada.

De la misma forma que en la pérdida de alcalinidad del hormigón, existe un periodo de iniciación en el que el material no se ve afectado hasta que no alcanza la armadura, sin embargo, una vez empieza, los orificios aumentan con gran rapidez. La perforación de una sección de acero puede llegar a producirse en meses o años (la normativa del Reino Unido que hace referencia a los valores típicos de velocidad de la corrosión, de aceros estructurales en ambiente marino y concretamente para la zona atmosférica, señala que tal velocidad es de 0,1 mm anuales) en función del diámetro de la sección y de la agresividad con la que actúen los cloruros; y habitualmente, las picaduras se desarrollan según las leyes de la gravedad.

El ataque empieza en los puntos débiles del material ya sea debido a defectos producidos por una compactación deficiente, por una pérdida de alcalinidad del hormigón o por fisuras generadas en este. Una vez alcanzada la armadura los iones cloruro se mezclan con los iones hierro reduciendo las propiedades de la capa pasiva del acero, generando la disolución del óxido de hierro.

##### Procedencia de cloruros

Los cloruros pueden proceder del exterior, es decir, del agua de mar presente en el aire y que se interna a través de los poros del hormigón; o pueden estar presente en el propio hormigón ya que es muy difícil eliminar completamente el componente. El ion está presente de forma natural en la mezcla del hormigón y siempre que se encuentre en presencia de oxígeno y humedad va a estar expuesto a la corrosión. El cloro está presente en varios componentes del hormigón en su fabricación y por lo tanto no se puede reducir a cero su existencia con los ensayos que se aplican en el control de material; por lo tanto, se establece un límite que se cree suficiente para que la estructura mantenga una seguridad.

El cloro presente en la mezcla del hormigón genera consecuencias negativas en la velocidad de corrosión del acero.

La EHE dicta un límite del ion cloruro para el agua, los áridos y cualquier compuesto aditivo ya que el hormigón en obra no debe contener ningún elemento dañino en cantidades suficientes que puedan afectar las propiedades del hormigón o generen la pérdida de protección de las armaduras.

### 2.3.5. PREVENCIÓN A LA CORROSIÓN

Las consecuencias que supone este tipo de afección sobre las estructuras, llegaría a alcanzar niveles en los que no haya vuelta atrás. La corrosión del acero da lugar a problemas como el aumento de volumen por hidratación, generando desprendimientos del hormigón que lo recubre; reducción de la ductilidad y de la sección de la armadura para la cual estaba dimensionada, así como la pérdida de adherencia en los estados más avanzados, en los que los dos materiales (acero y hormigón) quedan independizados.

Todos estos problemas terminan provocando las siguientes consecuencias:

- **Consecuencias económicas:** Se pueden clasificar en directas e indirectas. Las directas corresponden al fallo o debilidad de la estructura, suponiendo un coste en su reparación y mantenimiento, o en los peores casos, la sustitución por un nuevo elemento. Las indirectas se basan en situaciones en las que el debilitamiento de la estructura, provoca cierres de infraestructuras o industrias, generando un cese de la actividad económica a la que pertenece.
- **Consecuencias de seguridad:** Sin ninguna duda, puede llegar a ser la consecuencia más grave. Dependiendo el estadio de avance de la corrosión, podemos actuar reforzando la protección de la armadura mediante un mantenimiento; aunque en los peores casos puede alcanzar el colapso provocando importantes daños.
- **Consecuencias estéticas:** La corrosión de la armadura produce manchas en las caras vistas del hormigón, que se van extendiendo con el tiempo a lo largo de la estructura, dándole un aspecto deteriorado.

Para tratar de que no aparezcan esta serie de problemas, existen diferentes métodos de protección sobre las armaduras, o en su defecto sobre el hormigón. En fase de obra, un buen control sobre los recubrimientos de las armaduras te da más garantías de un buen comportamiento con el paso del tiempo. Para incrementar la protección en la capa superficial del hormigón, se pueden aplicar productos que reducen la intrusión del agua y las sales.

Para el caso de protección en armaduras, existen diferentes procedimientos.

La pintura sería una buena opción por la facilidad de aplicación, sin embargo, no trabaja bien en el aspecto de adherencia entre el hormigón y el acero, así que reduce la corrosión, pero pierde el sentido del comportamiento en su conjunto. Por otra parte, existen resinas epoxi (comúnmente llamado “taco químico”) que sí que cuentan con un buen grado de adherencia y tienen mucha utilidad, especialmente en la instalación de placas de anclaje en las que se requiere alta precisión. En los trabajos de rehabilitación este último caso resulta de buena aplicación, aunque se debe tener en cuenta que es un producto con precio elevado.

Los revestimientos metálicos y químicos consisten en aplicar un tratamiento sobre las armaduras con metales que cuenten con mayor resistencia a la corrosión. La galvanización es el sistema más utilizado, que consiste en imprimir la armadura con una capa de zinc. En este caso, el galvanizado protege la armadura de acero actuando como ánodo del sistema, por lo que frena las causas de corrosión.

Otro sistema viable puede basarse en la protección catódica, en los que las armaduras de la estructura queden unidas a otro metal que tenga una mayor facilidad de corrosión, siendo este el elemento sacrificado.

## 2.4. Áreas de afección por ambiente marino

En este apartado se va a revisar la literatura científica para obtener la información requerida para poder analizar posteriormente la vulnerabilidad en edificios de esta localidad y el estado en el que se encuentran. Para ello es necesario conocer los agentes que actúan sobre cada estructura y el tipo de daño que producen sobre estas. Además, se concretan los tipos de edificaciones que son más comunes en la costa de Oropesa y que nos ayudará a conocer qué tipologías son más y menos vulnerables frente a los agentes externos presentes en esta zona.

En cuanto a los agentes externos, el problema se va a enfocar concretamente en el conocimiento y estudio de la afección del ambiente marino sobre las estructuras, ya que supone la principal causa de deterioro del hormigón la cual llega a producirse por la corrosión de sus armaduras.

A continuación, se van a tratar de explicar tanto los conceptos que engloban a esta forma de deterioro como la forma que tiene de afectar sobre las estructuras de hormigón.

La EHE 08 define las diferentes áreas en las que afecta el ambiente marino según su posición, como se muestra en la siguiente figura.

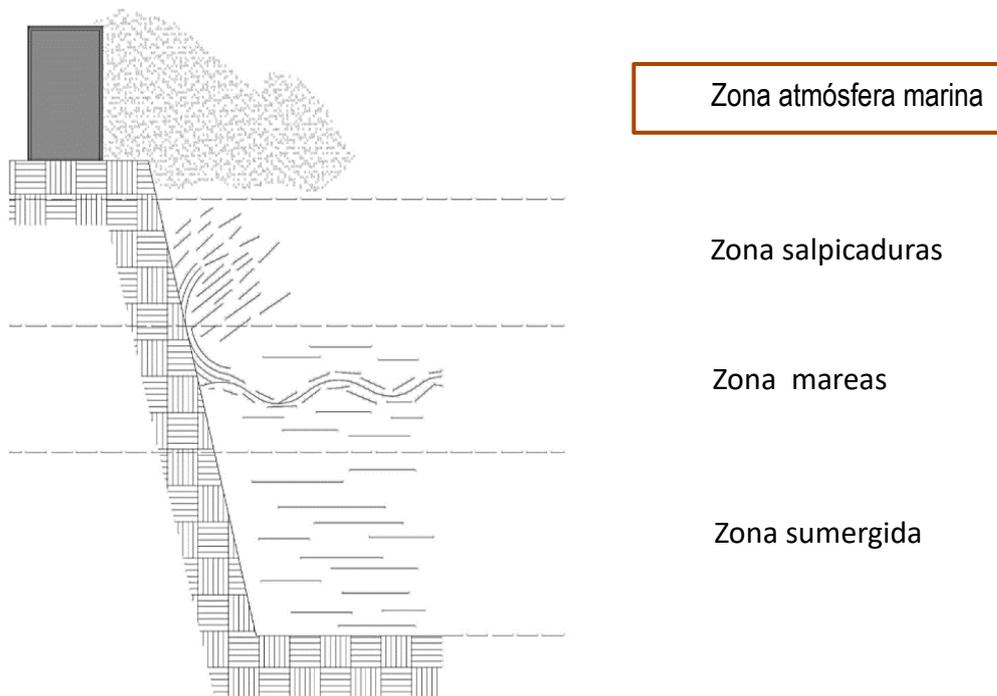


Ilustración 2. Esquema de zonas de ambiente marino. Fuente: Mehta, 1991

### a) ZONA DE ATMOSFERA MARINA

En esta zona, el hormigón nunca está en contacto con el mar. Sin embargo, recibe sal procedente de la brisa marina (el aerosol marino lleva los componentes disueltos en el aire). El nivel de cloruros decrecerá al aumentar la distancia al mar si bien, dependiendo de la naturaleza de la

costa y de los vientos dominantes, la sal puede ser transportada muchos kilómetros hacia el interior.

b) ZONA DE SALPICADURAS

Esta zona está, por encima de la zona de marea alta. El agua de mar procedente de las olas y la espuma choca contra el hormigón penetrando en el interior debido a la presión que ejerce.

c) ZONA DE MAREAS

Esta zona está comprendida entre los niveles de marea alta y baja. El hormigón estará sumergido o emergido cíclicamente cada día.

d) ZONA SUMERGIDA

Es la zona por debajo del nivel de marea baja, en la cual el hormigón está permanentemente sumergido. Es capaz de proteger las armaduras, pues debido a la débil concentración de oxígeno en el agua impide la actividad corrosiva del ion cloruro, en el caso de haberse introducido hasta la armadura. (Moreno et al., 2016)

En algunos elementos sumergidos, que sobresalen por encima de las zonas de marea alta (como ocurre en los pilotes) se produce la corrosión en las zonas emergentes. Esto se debe al estado de humedad permanente del hormigón que facilita la corrosión electrolítica.

Para la elaboración de este trabajo solo se va a tener en cuenta el daño causado por la zona de atmósfera marina, ya que no se va a estudiar ningún elemento que esté en contacto directo con el mar.

## **2.5. Propiedades del agua de mar**

Las principales propiedades químicas del agua de mar son la salinidad, la clorinidad y el pH.

La salinidad es una de las características que más interesa estudiar del océano. Esta propiedad resulta de la combinación de las diferentes sales que se encuentran disueltas en el agua oceánica, siendo las principales los cloruros, carbonatos y sulfatos. Se puede decir que básicamente el mar es una solución acuosa de sales, característica que le confiere su sabor.

Por lo general, el agua se considera salobre si contiene entre 3 y 5%, de sal en volumen, es decir, entre 30 y 50 gramos por litro (la relación en el caso del Mar Mediterráneo se encuentra entre 38 y 42 gr/l). De estas sales, el cloruro de sodio, conocido como sal común, destaca por su cantidad, ya que constituye por sí sola el 85 por ciento de las sales. El restante 15 por ciento corresponde a los otros componentes. A continuación, se muestra una imagen que refleja la proporción de iones presentes en el agua de mar.

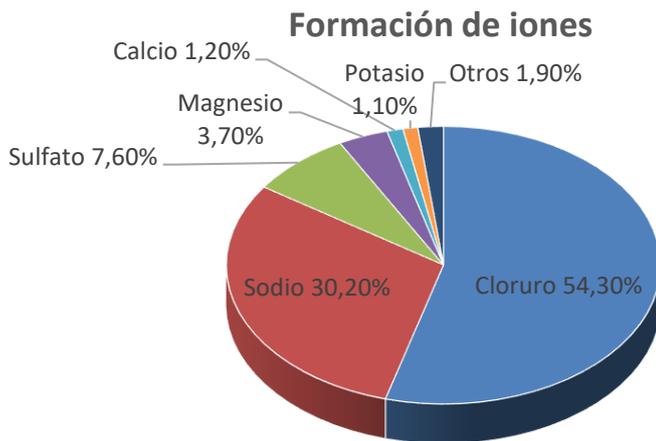


Figura 1. Contenido de iones en el agua del mar. Fuente: Propia con datos de Fernández García et al., 2016)

El agua oceánica es ligeramente alcalina, y el valor de su pH está entre 7.5 y 8.4 y varía en función de la temperatura; si esta aumenta, el pH disminuye y tiende a la acidez; también puede variar en función de la salinidad, la presión o la profundidad.

## **2.6. Estudio de la vulnerabilidad**

La evaluación de las condiciones de seguridad estructural frente a la afección del ambiente marino a menudo se olvida o infravalora, tal vez por la ausencia de riesgo inminente de colapso. Se reconoce, sin embargo, la importancia de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios, presente en los estudios técnicos para la rehabilitación y el mantenimiento de las estructuras. En el presente trabajo se han utilizado criterios similares de recopilación de información en el trabajo de campo, a los utilizados para el análisis de la vulnerabilidad sísmica de los edificios.

Por lo tanto, para el desarrollo de una metodología que permita evaluar la vulnerabilidad frente al riesgo de corrosión de las estructuras de hormigón armado en ambiente marino, se considera indispensable revisar la literatura científica relacionada con el análisis de vulnerabilidad sísmica de las estructuras. Esta metodología ofrece la oportunidad de estudiar, registrar y diagnosticar anomalías, deficiencias estructurales y también identificar los edificios que tienen un elevado grado de deterioro y alta vulnerabilidad. Para ello se debe analizar un gran número de edificios, suficientes para obtener resultados coherentes y válidos. Esta clase de estudios de aplicación en centros urbanos debe tener en cuenta tanto los aspectos estructurales como urbanísticos, es decir, su disposición urbana donde la planificación y la ordenación territorial pueden proporcionar información útil sobre la prevención de riesgos.

La acción de inspección y diagnóstico de edificios pueden ser una herramienta útil en la fase de planificación de la rehabilitación de un conjunto de edificios y una característica esencial para registrar y organizar la información que permita definir y justificar el nivel y el rigor de futuras intervenciones. El esfuerzo realizado en esta etapa es crucial en el éxito o el fracaso del análisis a realizar y a los objetivos finales del proyecto, para los cuales se empleará una profundidad y un nivel exigidos en función del grado de detalle que se desee alcanzar. Al diagnóstico realizado a través de la observación de las construcciones se le sumará la investigación histórica y la opinión de expertos. Existen diferentes formas de realizar un registro y diagnóstico que recolectan toda esta información como pueden ser un anejo fotográfico, encuesta geométrica del edificio, fichas o listas de control para registrar características constructivas y anomalías en los distintos elementos de la construcción.

### 2.6.1. ESTRATEGIA DEL PROCESO DE INSPECCIÓN, REGISTRO Y DIAGNÓSTICO

La inspección es el primer paso en la evaluación de la condición de un edificio y en la identificación de anomalías y deficiencias que comprometen su seguridad estructural y habitacional. Un diagnóstico débil tendrá un efecto negativo sobre la forma en que analizamos el edificio, lo que comprometería la eficacia de posibles intervenciones futuras.

En la elección de la forma de inspección, registro y diagnóstico radica la tarea más compleja que va a influir en el éxito o el fracaso de las acciones previstas en esta fase. En nuestro caso contamos con un elevado número de edificios, por lo que en un conjunto de este tamaño se deberá seguir una estrategia que permita obtener unos resultados seguros para el objetivo que se trata y para ello se deben seguir una serie de directrices y recomendaciones. Con respecto a la evaluación, es evidente la necesidad de entender y conocer las características de los edificios antiguos: comportamiento estructural, materiales, el valor y la identidad del edificio. Además, se considera esencial reunir información sobre la naturaleza y la calidad de los materiales y las técnicas de construcción antes de cualquier intento de diagnóstico que resulte de la interpretación de los daños y de la evaluación de la seguridad de los edificios.

A continuación, se resumen las principales preocupaciones para considerar el proceso de reconocimiento e inspección de edificios antiguos y que vamos a tratar de seguir a la hora de efectuar las observaciones de los edificios en Oropesa del Mar.

- Toda construcción es única, por lo tanto, el diagnóstico de la inspección es diferente para cada caso. Las técnicas llevadas a cabo deben ser adaptables según los datos de interés de cada construcción.
- La elección de los medios de registro, inspección y diagnóstico deben ser adaptados a la naturaleza de la construcción, las limitaciones físicas y a los recursos disponibles. Es decir, tener especial cuidado en qué registrar e inspeccionar, así como su profundidad de detalle, para ser coherente con los objetivos y el orden de magnitud del estudio.
- Las respuestas serán siempre el resultado de posibles interpretaciones a la información disponible, evitando así los procesos de especulación.
- El uso de fuentes de información externa puede ser una valiosa ayuda en este proceso.

## 2.6.2. PROCEDIMIENTOS DE INSPECCIÓN Y DIAGNÓSTICO

El éxito de una intervención depende mucho de un proceso creíble de inspección y diagnóstico. El diagnóstico, como se ha mencionado anteriormente, se trata de un conjunto de procesos complementarios en la identificación de problemas y anomalías en los edificios, además de fundamental en la definición de posibles intervenciones futuras. El diagnóstico identifica las causas de deterioro en base a los datos adquiridos, que quedan englobados en los siguientes tres aspectos:

- Análisis histórico (consulta de documentación, estudio bibliográfico, registros, fotografías, información oral, etc.).
- Análisis cualitativo, que se basa en la inspección visual.
- El análisis cuantitativo, basado en pruebas in situ o en el laboratorio de muestras (para el alcance y los objetivos de este proyecto, no se va a tener en cuenta este análisis).

El diagnóstico es a menudo una fase difícil ya que los datos disponibles se refieren a los efectos, mientras que lo que se trata de determinar es la causa. Por lo tanto, un proceso de diagnóstico se apoya en varios procedimientos para obtener datos o información acerca de un edificio. A continuación, se detallan los aspectos indicados en el párrafo anterior que se van a tener en cuenta.

- Investigación histórica, estructural y arquitectónica: El propósito de la investigación histórica es entender el diseño y la importancia del edificio, las técnicas utilizadas en la construcción, los cambios tanto en la estructura como en el entorno y finalmente, los eventos que pueden haber causado daños. La validación e interpretación de datos son indispensables para producir información fiable sobre la historia estructural del edificio estudiado. Una vez que se ha registrado toda la documentación, las fuentes se clasifican en función de su fiabilidad en un intento de recrear la historia del edificio. Se deberá prestar especial atención a los daños, modificaciones estructurales, reconstrucciones o cualquier cambio en el uso de la estructura que haya llevado a su condición actual.
- Inspección visual de la construcción: La examinación directa de la estructura es una parte muy importante en el estudio y deberá realizarse por medio de personal cualificado con el fin de aportar un conocimiento inicial de la estructura. Por inspección visual es posible identificar la degradación, el daño y las enfermedades; determinar si los fenómenos están estabilizados, decidir si existen riesgos inmediatos y, si fuera necesario, aplicar alguna medida de protección ante estos y por último también se pueden identificar los efectos ambientales que pueda sufrir la construcción.

### 2.6.3. ANÁLISIS PARA LA OBTENCIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

Como se ha comentado anteriormente, el procedimiento utilizado para determinar la vulnerabilidad de las estructuras de los edificios frente al ambiente marino, está basado en los métodos empleados en el ámbito de los sismos.

Dichos estudios llevan décadas analizando los procesos de vulnerabilidad de las construcciones y ajustando los parámetros para ser lo más precisos posible. Estos procedimientos se han podido llevar a cabo por medio de múltiples estudios en las poblaciones donde se han sufrido sismos con sus respectivas consecuencias. Examinando el estado de las edificaciones tras sufrir los daños del sismo y comparándolo con las técnicas de análisis de vulnerabilidad, existentes en dicho momento, se puede ir reduciendo el margen de error poco a poco, conforme se vaya recopilando más información al respecto (Martínez Cuevas, 2014).

Los estudios a los que se quiere hacer referencia en este trabajo aparecen en la década de 1980. En el año 1982, aparecen las propuestas de Benedetti y Petrini, para el cálculo del índice de vulnerabilidad de los edificios, basados en el comportamiento de las construcciones tras los terremotos sufridos en diferentes regiones de Italia, a partir del año 1976.

Estos dos investigadores plantean un método sencillo del cálculo de los índices de vulnerabilidad a partir de los parámetros más importantes que influyen en el comportamiento de los edificios.

Este método de análisis de la vulnerabilidad y daño de las construcciones requiere el conocimiento de:

- La Acción Sísmica: Corresponde a la intensidad o aceleración efectiva que ejerce el terreno, la cual podemos obtener mediante un sismógrafo.
- El Daño: Este dato se representa entre 0 y 1 en el caso de ser un índice o de 0 a 100 en el caso de querer representarlo como un porcentaje. Según el caso, 0 corresponde a una edificación que no sufre ningún daño, mientras que 1 o 100 corresponde al colapso total de la estructura.
- La Vulnerabilidad: Por último, el dato que más nos conviene conocer para este trabajo, trata de ser una medida cuantitativa que refleje la debilidad de un edificio de sufrir un daño cuando ocurre un sismo.

La ecuación en la que se basa para obtener el índice de vulnerabilidad, recoge un total de 11 parámetros de cada edificio en función de sus condiciones y a cada parámetro le aplica un peso fijo en función de su importancia respecto a las acciones de los terremotos.

$$Iv = \sum_{i=1}^{11} K_i * W_i \quad (2)$$

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en  
Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

A continuación, se muestran los parámetros utilizados para la estructuras de mampostería y sus correspondientes pesos. Cada valor de A, B, C y D están referidos a una información concreta.

Tabla 2. Relación de valores para la obtención del Índice de Vulnerabilidad

Parámetros	Clase $K_i$				Peso $W_i$
	A	B	C	D	
1. Organización del sistema resistente.	0	5	20	45	1.00
2. Calidad del sistema resistente.	0	5	25	45	0.25
3. Resistencia convencional.	0	5	25	45	1.50
4. Posición del edificio y cimentación.	0	5	25	45	0.75
5. Diafragma horizontales.	0	5	15	45	1.00
6. Configuración en planta.	0	5	25	45	0.50
7. Configuración en elevación.	0	5	25	45	1.00
8. Distancia máxima entre los muros.	0	5	25	45	0.25
9. Tipo de cubierta.	0	15	25	45	1.00
10. Elementos no estructurales.	0	0	25	45	0.25
11. Estado de conservación.	0	5	25	45	1.00

Fuente: Benedetti, D. Petrini V, 1984

Con los años, se han ido implementando diversos sistemas basados principalmente en el modelo de Benedetti y Petrini. Uno de los que presenta propuestas más avanzadas es el “Proyecto Risk UE”, financiado mediante inversiones de la Comunidad Europea. (Feriche Fernández-Castany, 2012)

Este método de análisis está basado en el patrimonio cultural, el sistema urbanístico de las ciudades y en las particularidades de los edificios. Trata de establecer un índice de vulnerabilidad de los edificios, teniendo en cuenta dentro de ellos, cuatro índices de probabilidad en función de que la ocurrencia sea más o menos probable (Feriche Fernández-Castany, 2012).

El sistema en el que se basa este índice de vulnerabilidad, es mucho más completo que el de Benedetti y Petrini ya que tiene en cuenta muchos más parámetros. A continuación, se muestra la ecuación que se tiene en cuenta para cada edificio:

$$I_{v\text{edificio}} = I_{v\text{clase}}^* + \Delta M_R + \sum_{j=1}^n M_C \quad (3)$$

Los tres parámetros reflejados corresponden, a los siguientes valores:

- $I_{v\text{clase}}^*$ : Este valor refleja la tipología estructural de cada edificio y su material de construcción. En total divide 23 clases (10 de mampostería, 7 de hormigón armado, 5 de estructura metálica y 1 con estructura de madera). De los 3 valores de la ecuación, este es el que mayores pesos representa, y engloba hasta 4 resultados para cada categoría estructural, en función de la probabilidad de sucesos que se le quiera asociar.
- $M_r$ : Corresponde a un modificador regional, el cual tiene en cuenta las particularidades de los edificios, dependiendo de la región donde se ubican. Este parámetro se aplica según la vulnerabilidad apreciada o de un juicio experto, basándose en las distintas normativas sismorresistentes de la zona.

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

- $\sum_{j=1}^n M_c$ : Este parámetro incluye un sumatorio de modificadores por comportamiento, dependiendo de la tipología estructural que se haya detectado en el primer valor ( $Iv^*clase$ ), según el material ya sea hormigón o mampostería. A lo largo de los años, se han ido añadiendo modificadores a este sumatorio conforme se investigaba en este aspecto y no solo con características del edificio, sino también de su ubicación respecto a su entorno.

Tabla 3. Comparativa de los Modificadores de comportamiento del índice de vulnerabilidad  $V_i$ , para edificios de mampostería no reforzada.

Factores de comportamiento	Parámetros	Valores de $M_c$	$M_c$ Granada	$M_c$ BCN
Estado de conservación	Buen mantenimiento	-0.04	-0.04	-0.04
	Mal mantenimiento	+0.04	+0.04 +0.06 (ruina)	+0.04
Altura o número de plantas	Bajo (1 o 2)	-0.02	-0.02 ( $\leq 1925$ ) -0.04 ( $> 1925$ )	-0.02 ( $\leq 1940$ ) -0.04 ( $> 1940$ )
	Medio (3, 4 o 5)	+0.02	+0.02 ( $\leq 1925$ ) 0 ( $> 1925$ /rehab)	+0.02 ( $\leq 1940$ ) 0 ( $> 1940$ )
	Alto (6 o más)	+0.06	+0.06	+0.06 ( $\leq 1940$ ) +0.04 ( $> 1940$ )
Sistema estructural	Grosor de los muros	-0.04, +0.04	+0.04 ( $\leq 1925$ ) 0 ( $> 1925$ ) -0.04 (rehabilit)	
	Distancia entre muros			
	Atado de muros: tirantes, atado esquinas (tie-rod, angle bracket).			
	Conexión forjado-muros			
Piso blando (Soft-story)	Planta diáfana / cambio rigidez	+0.04	+0.04	
Irregularidad en planta	...	+0.04	RC<0.5 (+0.04) 0.5>RC<0.7 (+0.02)	RC<0.5 (+0.04) 0.5>RC<0.7 (+0.02)
Irregularidad vertical	...	+0.02	0.02	
Plantas superpuestas	añadidos	+0.04		
Cubierta	Peso y empuje de la cubierta	+0.04		
	Conexiones con la cubierta			
Intervenciones	reparaciones	-0.08, +0.08		
Elementos antisísmicos	Barbacanas, arbotantes (foil arches), contrafuertes (buttresses)			
Edificio en agregado: posición en planta	Intermedio	-0.04	-0.04	-0.04
	Esquina	+0.04	+0.04	+0.04
	Terminal (Header)	+0.06	+0.06	+0.06
Edificio en agregado: posición en elevación	Plantas escalonadas	+0.02		
	Edificios adyacentes de diferente altura	-0.04, +0.04	-0.04, +0.04	-0.04, +0.04
Longitud de fachada	L (m)		+0.04 (L=30) +0.013 (L=20)	+0.04 (L=30) +0.013 (L=20)
Cimientos	Cimientos a diferentes niveles	+0.04		
Morfología del terreno	Pendiente	+0.02	+0.04	
	Precipicio o acantilado	+0.04	+ 0.04	

Fuente: Milutinovic y Trendafiloski, 2003, Granada Feriche et al, 2012 y Barcelona Lantada, 2007

## **2.7. Estudio de patologías y defectos en las construcciones**

### **2.7.1. INTRODUCCIÓN**

La palabra patología hace referencia a aquella lesión o deterioro sufrido por algún elemento, material o estructura. Cuando se tiene un problema constructivo en un edificio al cual se debe hacer frente, se deberá primeramente “diagnosticarlo” es decir, llegar a una conclusión de cuál es su proceso, su origen, sus causas, su evolución, sus síntomas y su estado actual. Por lo tanto, a este conjunto de aspectos del problema será al que se le llamará “proceso patológico”, que pueden agruparse de un modo secuencial, es decir, siguiendo el orden anterior. Siguiendo esta secuencia temporal del proceso patológico se pueden distinguir tres partes diferenciadas: el origen, la evolución y el resultado final.

Para realizar el trabajo de inspección de lesiones habrá que darle la vuelta a esta secuencia, habrá que observar cómo se ha producido la patología y en que estado se encuentra para conocer su diagnóstico. Por lo tanto, se debe empezar por observar el resultado de la lesión y el síntoma, siguiendo la evolución de la misma y llegar a su origen, es decir, la causa del problema. Una vez se conozca el “estudio patológico”, este permitirá establecer tanto la estrategia de la “reparación” como las hipótesis de la “prevención”.

Estas lesiones pueden ser primarias o secundarias. La diferencia entre ambas es la siguiente; en muchas ocasiones una lesión es, a su vez, origen de otra y, normalmente, las lesiones no suelen aparecer solas, por lo que conviene distinguir las que aparecieron primero en un proceso patológico concreto, siendo estas las lesiones primarias y las que surgen como consecuencia de las anteriores, las secundarias.

Estos daños se clasifican también en lesiones físicas, mecánicas y químicas, siendo las primeras todas aquellas lesiones de carácter físico, es decir, aquellas en que el problema se basa en hechos físicos, como partículas que ensucian fachadas, heladas, condensaciones, etc. Las mecánicas se conocen como aquellas en la cual prevalece un factor mecánico que provoca movimientos, aberturas o separación entre materiales o elementos constructivos, o aquellas en las que aparezca desgaste. Por último, en cuanto a las químicas, se conocen como tal, todas aquellas lesiones con un proceso patológico de carácter químico, donde el origen suele estar en la presencia de sales, ácidos o álcalis que reaccionan químicamente con los materiales para acabar produciendo algún tipo de descomposición en ellos, afectando, por tanto, a su durabilidad (Monjo Carrio & Maldonado Ramos, 2001).

Resulta de vital importancia conocer el origen de las lesiones en las estructuras de edificación, tanto para el proyectista como para el jefe de obra, ya que las consecuencias de no realizar un buen trabajo pueden tener una gran repercusión económica (e incluso penal en algunos casos), tanto para las empresas que participan en la ejecución como para las personas que habiten en sus casas.

Habitualmente los elementos que componen una estructura suelen quedar ocultos, por lo que las lesiones no quedan visibles hasta que aparecen daños de mayor magnitud, dejando muy poco margen de tiempo para intervenir. Un colapso parcial de una construcción puede llegar a causar daños irreversibles y poner en peligro la vida de sus ocupantes.

Las lesiones graves en elementos no estructurales aparecen por fallos estructurales o de mala ejecución, que pueden no tener importancia de cara a la estabilidad del edificio, pero pueden generar problemas para la vida diaria de las personas que habitan en él. A pesar de no ser un problema serio, se deben reparar una vez el edificio está en uso, lo que genera costes muy elevados.

Las lesiones que puedan aparecer en las construcciones suelen deberse habitualmente a dos factores: la mala concepción del proyecto o la mala ejecución de las unidades de obra.

### 2.7.2. PATOLOGÍAS DEBIDAS AL PROYECTO

En estructuras con patologías, resulta habitual que se deba a errores de proyecto o a partidas que no se han tenido en cuenta por olvido o mala concepción de la estructura. Dentro de este tipo de fallos pueden subdividirse dos clases, los errores de expresión o los errores de técnicos.

- *Errores de expresión*

Se refiere a todos aquellos producidos por las personas encargadas de plasmar los planos o definir las distintas unidades de proyecto (delineantes, mecanógrafos, etc.).

- *Errores técnicos.*

Son todos aquellos cuyos responsables son los redactores del proyecto de estructura (cálculo, diseño, detalles, etc.). Pueden existir errores de concepción general de la estructura, en los que se realiza un modelo de cálculo erróneo, la estimación incorrecta de las cargas que actúan sobre la estructura o bien la capacidad de la misma para soportarlas, estimación incorrecta de flechas de los distintos elementos, etc. A todas estas se le suman los errores de definición, errores de simbología o acotación y errores en detalles constructivos.

Existen multitud de ejemplos de errores de proyecto, como, por ejemplo:

- Los planos no coinciden con las dimensiones descritas en el presupuesto. En ocasiones, se tienen partidas descritas de otros proyectos y se reutilizan las mismas para otros posteriores. Lo mismo ocurre con los planos, que para unidades concretas que se utilizan en muchos proyectos, se utiliza el mismo diseño para todos y en ocasiones no coinciden con la ejecución real.
- Errores de terminología, en los que las especificaciones de los materiales empleados en la estructura, los métodos de ejecución, etc., pueden producir diversos errores que

tienen una gran trascendencia (cambios de tipo de hormigón, condiciones de puesta en obra, etc.), así como los errores en la definición del control de calidad y las referencias de la normativa.

- Errores en la acotación: Normalmente debidos a una acotación de la estructura sin tomar en cuenta el proceso de replanteo en obra, y a una ausencia de un sistema de ejes de referencia apoyado en puntos fijos de los elementos. Errores de levantamiento topográfico en fase de proyecto puede afectar en gran medida al resto de proyecto, tanto al proceso de ejecución previsto como al presupuesto.
- La falta de cotas también induce a errores en obra, puesto que obliga a la interpretación de las dimensiones que faltan.
- Los errores de escala en planos y detalles también generan graves problemas al no coincidir la información con lo que se trata de expresar. Este problema puede producirse en detalles de armado, ya que si no se dibujan los redondos a la escala indicada pueden producirse problemas de ejecución por exceso de barras, impidiendo un correcto hormigonado y vibrado.
- Los detalles constructivos son imprescindibles para explicar en profundidad los planos generales y pueden ser origen de varios errores, tanto por su omisión como por soluciones incorrectas, que en teoría deben ser ejecutadas al pie de la letra en la obra.

También es origen de errores en obra la mala disposición de los detalles en los planos, impidiendo una lectura clara, llegando incluso a confundir unos detalles con otros.

Un error frecuente de ausencia de detalles en un proyecto se produce en los planos de forjados con vuelos de viguetas sin continuidad, no detallándose la ejecución de la zona de transmisión de esfuerzos de compresión de la viga volada al resto de forjado. Al no contemplar detalles específicos se producirán flechas excesivas y torsiones en la viga de apoyo no contempladas.

- Los errores debidos a las modificaciones en los proyectos durante su ejecución suelen ser habituales. Durante el transcurso de las obras, van apareciendo modificaciones como consecuencia de imprevistos y como consecuencia, aparecen errores debido a la no actualización de todos los planos iniciales, trabajando con planos originales y detalles modificados, provocando incoherencias en la información.
- Los fallos de dimensionamiento de las juntas de dilatación producen problemas de fisuración en la estructura y en los elementos de fábrica, dando una mala imagen del edificio.
- En ocasiones, la mala disposición de las armaduras, la falta de armado o la insuficiencia de cuantía de acero, son motivos de lesiones de la estructura, cuyo origen puede estar tanto en un proyecto mal definido como en un error de ejecución en obra.

Es habitual encontrar fisuraciones por falta de adherencia debida a la insuficiencia de un buen anclaje, o bien a una solución errónea de continuidad de la armadura en los nudos.

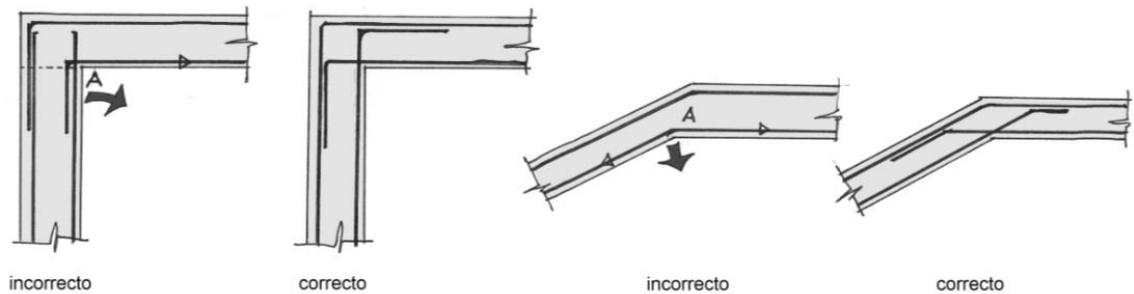


Ilustración 3. Disposiciones incorrectas y correctas en nudos de muros y losas de escalera de H.A. Fuente: Rodríguez, et al., 2004.

En las figuras anteriores definidas como “incorrectas”, las disposiciones de armado en el nudo pueden provocar bajo tensión la rotura del recubrimiento (A).

En otros casos, la falta de solape necesario en armaduras de tracción en nudos y en centros de vano puede generar fisuración o colapso del elemento.

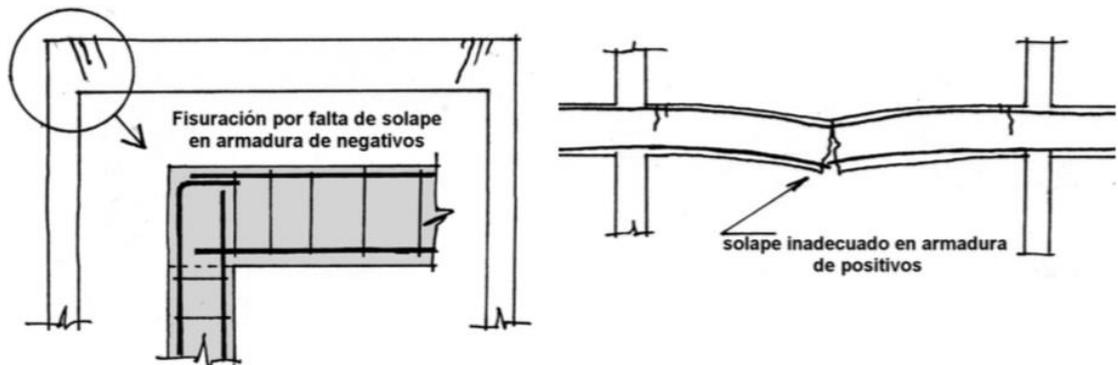


Ilustración 4 Detalles de fisuración por solape inadecuado. Fuente: Rodríguez, et al., 2004.

Otro error en disposición de armaduras, consiste en dejar cortas las barras de espera en cabeza de pilares. Esto produce una adherencia insuficiente entre armados de pilares y con ello la no transmisión de esfuerzos, provocando fisuraciones en las bases del pilar superior.

Como conclusión, se deduce la importancia de un control de calidad del proyecto antes de su ejecución. Esta revisión se rentabiliza fácilmente ya que evita problemas posteriores en obra y con ello un importante ahorro en los costes no previstos.

### 2.7.3. PATOLOGÍAS DEBIDAS A LA EJECUCIÓN

La patología de ejecución de una estructura, contempla el estudio de las lesiones cuyo origen se sitúa durante el proceso constructivo. Los motivos más comunes en este tipo de patología son:

- La falta de un control de calidad serio, que impide detectar a tiempo problemas normalmente irreversibles y de gran trascendencia posterior.
- El incumplimiento de la normativa específica de aplicación en estructuras de HA o bien el incumplimiento de las normas no escritas del buen hacer.
- La mano de obra insuficientemente cualificada y sin experiencia en la construcción de estructuras de HA.
- El exceso de confianza depositado en el jefe de obra por parte de la Dirección Facultativa, dejando para el final la revisión de la obra, cuando los errores ya se han producido.
- Las subcontrataciones a la baja, que originan normalmente un trabajo deficiente.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de errores producidos en la fase de ejecución.

La armadura de un pilar, si no incorpora separadores para asegurar unos recubrimientos mínimos, puede quedar desplomada sin que esto pueda ser detectado a simple vista. Esto puede provocar fisuración horizontal en la cara con menos recubrimiento.

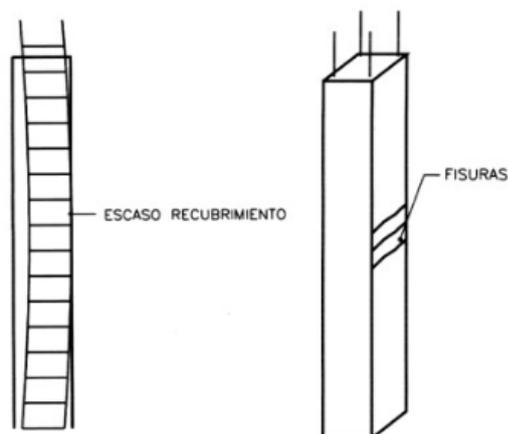


Ilustración 5. Lesiones provocadas por movimiento de la armadura en su colocación. Fuente: Rodríguez, et al., 2004.

Si el recubrimiento fuera excesivo, la armadura queda bien protegida de los agentes externos, sin embargo, el hormigón en superficie queda sin armar, dando pie a la fisuración por retracción.

Las ménsulas que soportan cerramientos de ladrillo en varios pisos, se tratan de una situación típica en edificios con voladizos cerrados (quedan en el interior de la fachada, no se trata de balcones). El origen de las lesiones proviene de una mala ejecución de la fábrica, que se coloca el mortero contra las ménsulas sin dejar una junta suficiente.

La consecuencia es que el peso de las fábricas desciende por fachada, en lugar de transmitirse a los pilares, hasta la ménsula más baja, que al no tener bajo ella ningún cerramiento, tiene que soportar una carga superior a la de cálculo.

Otro motivo de lesiones es el excesivo doblado de armaduras. Los radios de doblado deben estar en función del diámetro de la barra y si se aplican radios muy pequeños puede originar una acumulación de tensiones tal que llega a punzonar el hormigón.

También aparece el grifado incorrecto de la armadura longitudinal de los pilares, para preparar las barras de espera. Esto puede provocar tanto roturas de la cabeza del pilar, como mal funcionamiento de la armadura en su conexión con el siguiente.

El error de replanteo, se considera un fallo de gran trascendencia como consecuencia del mal posicionamiento de encofrados de los pilares, originando desplomes entre pilares de distintas plantas. Esto provoca excentricidades de carga que pueden originar sollicitaciones excesivas.

También aparecen errores de replanteo en los bordes de forjado. Si no cumplen con las dimensiones marcadas, puede suceder que el cerramiento que, en teoría apoya en el forjado, quedase sin apoyo suficiente, provocando fisuraciones en el cerramiento.

A pesar de los controles de calidad que se realizan en las plantas de hormigón, el suministro en obra puede alterar su capacidad resistente y de durabilidad, como consecuencia de la manipulación de las propiedades del hormigón durante su vertido.

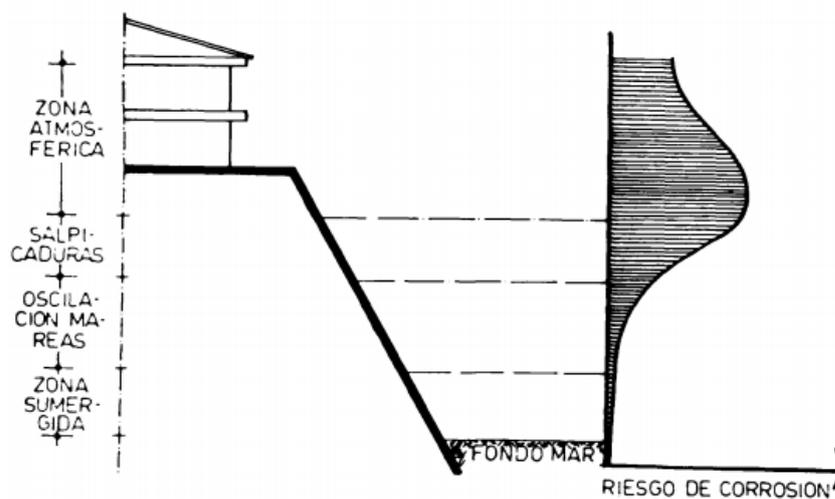
En ocasiones en el que el hormigón resulta plástico o duro y por lo tanto crea dificultades de manipulación para el operario, se le añade agua para facilitar la puesta en obra. Esto está prohibido debido a que disminuye la resistencia del hormigón y crea unidades muy porosas.

Realizar un vertido inadecuado a excesiva altura, provocando la segregación del árido puede ocasionar la formación de un hormigón que no sea homogéneo, apareciendo zonas con resistencias más bajas a las indicadas en proyecto.

Un vibrado insuficiente, impidiendo al hormigón envolver totalmente el armado puede dejar la armadura desprotegida ante la corrosión. También se originan coqueras, lo que disminuye la sección de la pieza, reduciéndose la resistencia.

### **3. VULNERABILIDAD AL AMBIENTE MARINO**

El proceso agresivo de la niebla marina tiene origen en el transporte y formación del aerosol marino, que se genera tras la rotura de burbujas en la interfase entre la atmósfera y superficie del mar. Generalmente, aunque las partículas de tamaño inferior están en mayor proporción en la composición de la niebla, las partículas mayores pueden representar el 5-10% del total de partículas y corresponder al 90-95% del total de la masa. En la siguiente imagen se muestra como la zona de salpicaduras es la que más sufre el riesgo de corrosión, pero la zona atmosférica también recibe una gran cantidad de daños.



*Ilustración 6. Tipos de exposición marina y variación del riesgo de corrosión de armaduras Fuente: Perepérez et al., 1987.*

La distribución vertical de la atmósfera marina se ve influenciada por el efecto de la gravedad. Como consecuencia, las partículas más pesadas y más grandes quedan depositadas en los niveles inferiores, por lo que la concentración disminuye con la altura, sin embargo, las partículas más pequeñas pueden llegar más lejos. Para conocer los distintos niveles de afección del ambiente marino sobre cada edificación deben tenerse en cuenta una serie de parámetros que intervienen en el estado de estas en función de su magnitud. El estado en el que se encuentra el parque inmobiliario de Oropesa del Mar puede depender de las siguientes variables estudiadas:

- Distancia a la costa
- Direcciones y velocidad del viento
- Situación respecto al mar y al resto de construcciones (fricción con obstáculos)
- Precipitaciones
- Morfología generada en el crecimiento urbanístico
- Edad de las construcciones
- Material constructivo (estructura y revestimientos)
- Tipología constructiva
- Disposición de las edificaciones

### 3.1. Distancia a la costa

La influencia que ejerce la distancia al mar sobre los edificios costeros es un parámetro clave en el análisis de la agresividad salina en las atmósferas marinas ya que da a conocer cómo afecta la durabilidad de las estructuras en función de la separación entre estas y el litoral costero.

Diferentes estudios señalan que los datos de agresión salina siguen una distribución exponencial en función de la distancia al mar y las concentraciones de cloruros disminuyen considerablemente a partir de los 100 - 200 m. (Perepérez et al., 1987).

La normativa española engloba en el mismo ambiente a todos los edificios situados hasta a 5 km de distancia de (Perepérez et al., 1987) la costa y como se muestra en el gráfico la afección de cloruros varía considerablemente. En otros países como en Japón, se especifica por ejemplo si la estructura está a menos de 100 metros de la costa, entre 100 y 200 o más, lo que proporciona una mayor precisión a la hora del cálculo del proyecto.

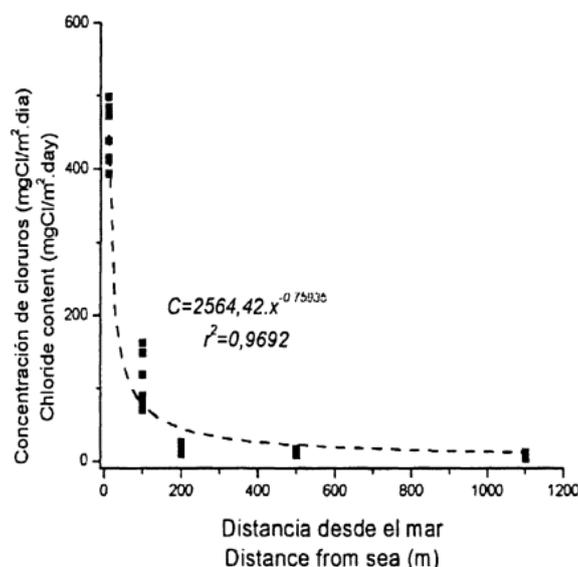


Ilustración 7. Efecto de la distancia en el depósito de los cloruros de la niebla salina. Fuente: Meira, G R, Andrade, C., 2003.

### 3.2. Direcciones y velocidad del viento

Este factor se encarga de transportar el aerosol marino y comienza a ser importante en el momento en el que alcanza un valor concreto. Algunos autores establecen que a partir de unos 7-11 m/s (Meira, G. R. et al, 2003) este parámetro empieza a ser significativo, por otra parte, se reconoce que a partir de los 3 m/s, unos 11 km/h, este fenómeno ya empieza a poder ser considerado y suficiente para transportar la niebla salina sobre las estructuras.

La dirección del viento se considera también de gran importancia debido a que no todas las fachadas son igual de vulnerables y, por lo tanto, dependerá de la orientación del viento que

impacte sobre cada una de ellas. Es de entender que la dirección debe provenir principalmente del mar para afectar con un mayor número de cloruros, sin embargo, cualquier orientación puede debilitar la estructura erosionando los elementos y aportando otros elementos perjudiciales.

### **3.3. Situación respecto al mar y al resto de construcciones (fricción con obstáculos)**

Debe considerarse la línea en la que se encuentra cada construcción con respecto a la costa ya que la primera línea es la que recibe la gran mayoría de la acción de la atmósfera marina e impide parte del paso a los edificios situados detrás de este. La fachada expuesta al viento principal será la que reciba la mayor parte de los cloruros, es decir, recibe la carga con mucha más agresividad que las fachadas laterales.

La situación con respecto al resto de construcciones también tiene importancia por varios motivos: porque el viento no siempre sigue la misma dirección y puede que para otra dirección diferente a la principal esté mucho más expuesto. También dependerá de la altura y la planta que tengan los edificios que forman una barrera de protección frente a los otros. En el caso en el que la primera línea de costa cuente con mayoría de edificios altos, situación que suele ser bastante habitual en el litoral valenciano (efecto pantalla), estos recibirán gran parte de la afección.

### **3.4. Temperatura y precipitaciones**

Las altas temperaturas del aire ocasionan efectos antagónicos en la corrosión, algunos estudios consideraban que un aumento de temperatura acelera las velocidades de los diversos procesos físicos y químicos involucrados en la corrosión metálica, sin embargo, no es así de evidente. Por debajo de 10°C la intensidad de corrosión decrece claramente con la temperatura mientras que entre 10 y 25°C aumenta ligeramente. Sin embargo, cuando aumenta la temperatura disminuye la cantidad de oxígeno en el interior de los poros y disminuye la humedad, por lo que la superficie metálica deja de estar en contacto con el agua. (Andrade et al., 1998)

La temperatura y la humedad van muy ligadas a la hora de conocer la corrosión del acero en el hormigón. Cuando este sufre carbonatación, se presentan velocidades altas de corrosión cuando la humedad relativa está por encima del 90%, sin embargo, los valores máximos de corrosión en hormigones dañados por cloruros, se obtienen para valores intermedios de humedad (75% aproximadamente) ya que un exceso de la misma impediría la entrada de los cloruros.

También debe mencionarse el ciclo de humectación-secado ya que en presencia de éste crece el contenido de cloruros, por ello se deben conocer los niveles de precipitación. Con estos ciclos, el hormigón resulta muy vulnerable por la generación de pilas. En los periodos de secado crece la concentración de cloruros y aumenta el acceso del oxígeno a través de los poros.

### **3.5. Morfología generada en el crecimiento urbanístico**

La construcción en el litoral dependerá de la sinuosidad de la línea de costa. Existen dos tipos de modelos: aquellos que mantienen una estructura ordenada a lo largo de la costa generando parcelas paralelas unas a otras; o aquellas que se adaptan a la línea de costa simplemente construyendo de forma que se sigan las irregularidades de la morfología. El primer caso suele coincidir con costas lineales, mientras que el segundo modelo corresponde con el litoral con entrantes y salientes.

Conviene destacar que no afectará de la misma manera la niebla salina sobre una morfología u otra ya que en costas sinuosas, el viento y el transporte de cloruros podrá verse impedido por las barreras naturales o antrópicas en algunas construcciones mientras que, en una morfología lineal, no existen barreras.

También debe contemplarse el hecho de si la costa está formada por playas o acantilados rocosos. En el caso de la existencia de playas, el mar alcanza la costa con suavidad y se generan menos turbulencias lo que provoca una menor alteración de la superficie. Esto significa que la interacción aire-agua es menor, reduciendo la cuantía de cloruros en el ambiente. Por el contrario, en las costas rocosas el mar choca con violencia sobre la superficie produciendo el ascenso de las partículas entrando en contacto con la brisa marina.

### **3.6. “Edad” de las construcciones**

El año en el que se construyeron los diferentes edificios tiene una importancia remarcable. En primer lugar, se debe hacer referencia a lo comentado anteriormente en el apartado 2.2 que muestra las diferentes instrucciones de hormigón y la consideración que tiene cada una de ellas sobre la durabilidad y la afección del ambiente marino sobre las estructuras. Según la época en la que se proyectara una construcción se tuvo en cuenta una normativa y cuanto más antigua, más vulnerable es en ese aspecto ya que los recubrimientos eran menores y se tenían menos conocimientos sobre afección de cloruros sobre las armaduras. Además, no solo debe tenerse en cuenta la corrosión por ambiente marino, sino que los conocimientos sobre construcción en general y sobre hormigón armado en particular, eran menores en aquel momento.

A lo comentado en el párrafo anterior hay que sumarle la edad del edificio en sí, que en general están proyectados para una vida útil delimitada y con el paso del tiempo las estructuras van perdiendo sus propiedades iniciales. En el caso de las armaduras en concreto, el acero tiene una velocidad de corrosión y, por lo tanto, cada año irá sufriendo una debilitación si no se efectúan rehabilitaciones o acondicionamientos de ningún tipo.

El turismo de playa en España nació a mediados del siglo XX por lo que en estos momentos existe un importante parque de edificios que cuenta con más de 50 años de los que se considera

necesario conocer el estado en el que se encuentran. La mayoría de estas edificaciones están destinadas a viviendas de segunda residencia por lo que no se lleva a cabo un mantenimiento regular de las mismas.

### **3.7. Material estructural**

La mayoría de construcciones cuentan con hormigón armado como base estructural por lo que son estos dos elementos, el hormigón y el acero, los que más preocupan en cuanto a la vulnerabilidad en un ambiente costero. El hormigón utilizado dependerá de la normativa que se haya aplicado en el momento de realizar el proyecto, siendo la relación agua/cemento, la abertura de fisura límite y el criterio del técnico (esto se debe a que durante años, el recubrimiento del armado en ambientes agresivos se aplicaba según el criterio del proyectista, siempre cumpliendo unos valores mínimos), los principales aspectos a tener en cuenta. También se debe considerar la resistividad del hormigón (propiedad volumétrica del material que indica el paso de cargas eléctricas), factor importante para restringir la corrosión del armado.

*Comparación de las ventajas del acero respecto al hormigón:*

- El acero es un material con mayor resistencia, lo que permite que los elementos que conforman la estructura tengan una sección transversal mucho menor, ganando espacio útil.
- El acero es mucho más homogéneo y uniforme que el hormigón ya que cuenta con un control de fabricación mucho mayor que el hormigón.
- La estructura metálica se lleva a cabo en mucho menor tiempo que la de hormigón ya que los elementos principales ya han sido elaborados en taller.
- La reutilización del acero en el caso de desmontar la estructura, es una gran ventaja respecto al hormigón.
- La adaptabilidad del acero frente a estructuras que necesitan rehabilitación, ya sea para reforzar estructuras existentes o para realizar una completa reconstrucción del edificio conservando su fachada original. Este es un caso particular que también se ha presentado en uno de los edificios en los que se han realizado las inspecciones



Imagen 2. Fachada de edificio de Oropesa del Mar. Fuente: Propia.

*Comparación desventajas del acero respecto al hormigón:*

- La corrosión es un aspecto a tener muy en cuenta en esta localidad costera, por lo que supone un problema aún más grave que en otras localidades. La propia estructura de acero se corroe con mayor velocidad que las armaduras en una estructura de hormigón, el cual cuenta con un gran espesor de recubrimiento.
- La acción de la corrosión debe ser tratada con productos que impidan el ataque químico, lo que conlleva un coste económico que el hormigón no necesita.
- El acero tiene la problemática de que resiste mucho peor los incendios que el hormigón.
- Debido a la esbeltez de los elementos de la estructura de acero sometidos a la acción de compresión, tiene mayores probabilidades de sufrir pandeo.
- Por último, quizá la desventaja más importante que determina que la mayoría de estructuras del municipio de Oropesa del Mar se hayan ejecutado en hormigón y no en acero es por el aspecto económico, ya que tanto el coste de la propia estructura, como la mano de obra (debe ser especializada, por lo que aumenta el gasto por trabajador), como también el mantenimiento necesario para no sufrir la afección corrosiva o en protección contra el fuego.

### **3.8. Tipologías de la edificación**

Este término es muy amplio y puede englobar tanto información estructural, como detalles de los edificios, o también la forma que tienen.

En este caso se va a tratar la forma de los edificios en planta y en alzado, además de qué morfología puede aparecer en el interior de una o varias parcelas. Habitualmente en las

ciudades se sigue una urbanización concreta y ordenada para que las vías sean seguras y preferiblemente rectas, sin embargo, en muchas zonas de playa no se ha tenido muy en cuenta la ordenación del territorio y se ha edificado en función de la forma que cuenta la línea costera. A continuación, se explican los diferentes tipos de manzana que podemos encontrarlos.

- **Manzana cerrada:** Área de suelo urbano cuyo contorno queda delimitado por viales y en la que se permite edificar en todo su perímetro, siguiendo las condiciones prescritas por la ordenanza correspondiente.



Imagen 3. Ejemplo de manzana cerrada. Fuente: Google Earth.

- **Manzana abierta:** Se trata del conjunto de edificios autónomos y no idénticos, rodeados por viales. La principal diferencia con la manzana cerrada es que en este caso, la parcela interior sin edificar tiene salida directa a la calle



Imagen 4: Ejemplo de manzana abierta. Fuente: Google Earth.

- **Bloque exento:** Se denomina bloque exento a la edificación que se sitúa separada de todos los lindes de la parcela.
- **Lineal:** Se trata de un modelo de urbanización en el que los edificios se encuentran uno junto a otro sucesivamente formando un tramado de bloques longitudinal, sin viales perpendiculares a estos. Podemos contar con dos modelos; los edificios con medianeras a ambos lados y los que se encuentran en esquina, con una única medianera.

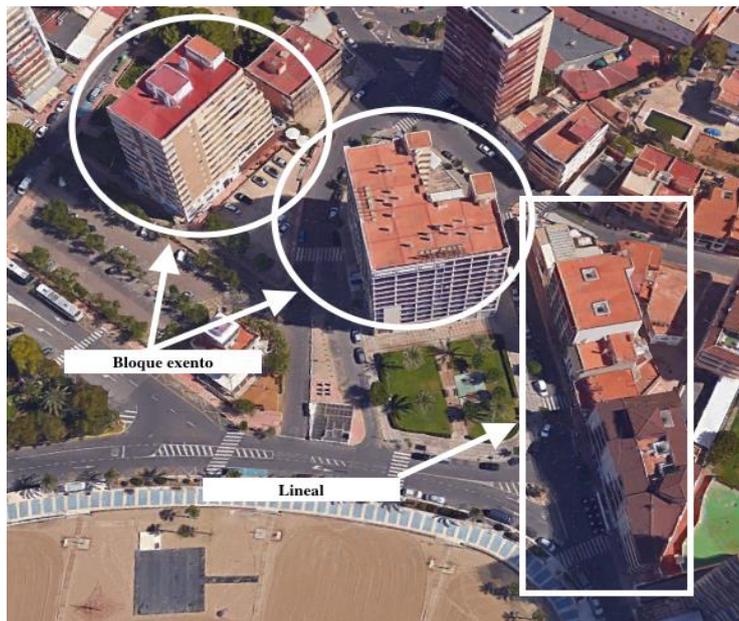


Imagen 5: Ejemplo de manzana abierta. Fuente: Google Earth.

Una vez comentado los distintos modelos urbanísticos que pueden encontrarse en las localidades; como se están definiendo la morfología en planta también se deben tener en cuenta tres factores más para conocer la vulnerabilidad frente al ambiente marino, que son los siguientes:

- **Superficie de fachadas en planta:** Obviamente se debe tener en cuenta que cuanto mayor sea la superficie de la fachada, mayor será la posibilidad de encontrar patologías. Un edificio con 800 m<sup>2</sup> de superficie habitable tendrá un porcentaje mayor de sufrir daños que uno de 400 m<sup>2</sup>, simplemente por el hecho de que el área de afección por aerosol es el doble.
- **Fachadas verticales o escalonadas:** La misma explicación que el punto anterior podría tomarse en este, ya que las fachadas escalonadas, muy comunes en localidades costeras, cuentan con una superficie de fachada mayor que las verticales.

- Superficie de fachadas en alzado: El mismo criterio que se sigue en superficie en planta, nos sirve para el alzado. Cuantas más alturas tengan las edificaciones mayor vulnerabilidad tendrán a sufrir algún desperfecto.

### **3.9. Revestimientos de fachadas**

A lo largo de la historia siempre se ha visto la necesidad de aportar un revestimiento a las paredes de fachada realizadas con fábrica. Con el tiempo, los acabados han ido confiriendo a estos revestimientos un carácter propio muy ligado a los distintos estilos arquitectónicos.

Los principales acabados vistos en el territorio valenciano, están caracterizados por dos técnicas principales en el revestimiento de fachadas; monocapa o ladrillo caravista.

#### ➤ REVESTIMIENTO MONOCAPA

Revestimiento para fachadas constituido por un mortero de cemento y/o cal, aplicado directamente sobre el cerramiento (ladrillo, bloque de hormigón, etc.), que sustituye al sistema tradicional de enfoscado más pintura. Aporta en una sola capa las funciones técnicas (protección frente a la lluvia, frente a los golpes, etc.) y estéticas (color y textura). Constituye una solución duradera, de bajo mantenimiento, impermeable y moderna, adaptada a las actuales exigencias de calidad de las obras (Pérez et al, 2007).

El monocapa se adapta bien en regiones con fachadas sometidas a variaciones de lluvia y sol. Sin embargo, no es recomendable su aplicación en zonas de fachada donde simultáneamente se den condiciones de permanente humedad, poca ventilación y estén sometidas de manera frecuente a condiciones climáticas adversas (como, por ejemplo, ciclos hielo-deshielo). Queda descartado su empleo en zonas en contacto con agua o sumergidas.

La orientación respecto a la insolación solar, el clima y el entorno ambiental son parámetros a considerar antes de prescribir la aplicación con monocapa. Las caras orientadas a norte, son más problemáticas en zonas de climatología fría o muy húmeda. En primer lugar, porque la falta de insolación no va a permitir que aumente la temperatura del cerramiento y lo seque. En segundo lugar, porque al no evaporarse el agua, aumenta el riesgo (en zonas frías) de que ésta se hiele. Al helarse el agua, se produce un aumento de volumen intersticial que contribuye a la disgregación del mortero. (ANFAPA, 2008).

En la siguiente imagen (obtenida realizando las inspecciones técnicas de los edificios para este trabajo) se muestra el resultado de lo comentado en el párrafo anterior. La

fachada norte del edificio, que cuenta con poca ventilación, ha sufrido un deterioro en el revestimiento monocapa de la fachada. Se aprecia la diferencia comparada con la fachada de la derecha del mismo edificio, orientada hacia el este y recibiendo una gran cantidad de luz solar directa durante el día, mientras que la otra no recibe prácticamente nada de luz por lo que no permite la evaporación del agua existente en el monocapa.



Imagen 6. Edificio con problemas en fachada. Fuente: Propia

Las concentraciones permanentes de humedad sobre el monocapa, terminan causando su degradación. Por ello hay que evitar puntos en los que puedan darse estas situaciones. El agua de lluvia que recibe la fachada correrá por su superficie en forma de escorrentía, tanto más intensa cuanto mayor sea la lluvia. El monocapa va a absorber una parte de esa agua que más tarde volverá a liberar en forma de evaporación. El ciclo que se produce de humidificación y posterior evaporación es admitido perfectamente por el producto. Lo que no admite, es la humedad permanente. Es por ello que se desaconseja el revestimiento con monocapa de superficies no verticales expuestas a la lluvia (ANFAPA, 2008).

#### ➤ REVESTIMIENTO LADRILLO CARAVISTA

Las fachadas de ladrillo caravista han sido y siguen siendo una de las soluciones más habituales para conformar las partes opacas de los cerramientos exteriores de los edificios actuales en España. La supuesta durabilidad y escaso requerimiento de mantenimiento que se han asociado

tradicionalmente a esta solución, junto a la buena acogida de que gozan, justifican y explican su elección.

Destaca por ofrecer un buen acabado estético, lo que permite levantar cerramientos exteriores, junto a una serie de prestaciones técnicas, que garantizan el cumplimiento de todos los requisitos de calidad: resistencia al agua, absorción, compresión, etc. Se caracteriza por estar fabricado con material ecológico y sostenible, por lo tanto, respetuoso con el medio ambiente ya que su base de fabricación es la arcilla, permitiendo la construcción de viviendas sin problemas de toxicidad.

Cuenta con una gran variedad de acabados y colores, ofreciendo un gran número de posibilidades debido a la cantidad de fabricantes de estas piezas existentes en el mercado.

Los ladrillos caravista se someten a un proceso que consiste en aplicar, por inmersión o aspersión, un producto hidrófugo que mejora los valores ante la succión de agua, pero permite el paso del vapor y la transpiración de la pieza.

Al reducir la velocidad con la que el ladrillo absorbe agua (succión) se fuerza el secado del agua de amasado del mortero a través de la llaga, por lo que se elimina el riesgo de contaminación del ladrillo por las sales del mortero y la posterior aparición de eflorescencias, evitando además una deshidratación prematura del mortero de traba. El bajo coeficiente de saturación de los ladrillos hidrofugados los hace muy resistentes a los ambientes marinos.

La principal desventaja del caravista es el precio, ya que tanto el material como el coste de ejecución por metro cuadrado es mayor que en las fachadas revestidas con monocapa. Por el contrario, la opción del caravista garantiza una vida útil más longeva y sin costes de mantenimiento posterior.



Imagen 7. Ejemplo de fachada con ladrillo caravista. Fuente: Propia

### **3.10. Huecos en fachada**

Los puntos más vulnerables de una fachada de cara al aislamiento, son sus huecos. Es por ello que un mayor número de huecos generará una mayor posibilidad de que las partículas del aerosol penetren en el interior de las viviendas pudiendo dañar o incrementar daños existentes. También el propio perímetro del hueco es un punto crítico a tener en cuenta por la posibilidad de fallos de ejecución en las juntas o en aparición de fisuras en los dinteles.

Cuanto mayor sea el número de huecos, más vulnerable será la vivienda a sufrir daños en estos puntos, lógicamente. Por otra parte, la eficiencia de la ventana dependerá del material a elegir y más en los casos donde las condiciones ambientales sea un factor predominante en la toma de decisión. En el caso de que los marcos sean de madera, estos pueden sufrir problemas por humedad o bien por la incidencia directa del sol, hinchando las secciones o desgastándolas, hasta conseguir que se reduzca la estanqueidad de la vivienda. Bien es cierto que con el paso de los años se ha innovado en este tipo de carpinterías y las calidades son mejores, sin embargo, siempre precisará de un mayor mantenimiento que con otros materiales. Por otra parte, el aluminio requiere mucho menos mantenimiento y ofrece soluciones constructivas mejores y mayor abanico de formas y modelos. Por último, el PVC es un material que ofrece un buen aislamiento térmico y acústico; es ligero, no se oxida y tampoco se corroe, por lo que se trata de un material sin apenas mantenimiento.

Aparte de la carpintería en sí, al tratarse de un espacio que interrumpe la continuidad de la fachada, en fase de construcción genera una serie de detalles constructivos que, si no se ejecutan correctamente, pueden dar lugar a múltiples patologías en el entorno de las hojas.

### **3.11. Detalles y diseños constructivos**

A la hora de proyectar y ejecutar edificaciones, aparecen múltiples puntos en los que se requiere un enfoque con mayor precisión y un estudio más concreto de estas áreas. Se trata de una serie de detalles que inicialmente pueden no tener una gran importancia frente a la totalidad de fases de la construcción, pero que a la larga son las pinceladas que contribuyen a crear una buena presencia estética de los edificios, tanto por dentro como por fuera y que llegan a reducir el coste económico en mantenimientos futuros, o problemas de patologías.

En menor medida, se cuenta también la importancia de los diseños constructivos, en los que dependiendo de la opción que se haya elegido, existirán unidades estructurales que quedarán más vulnerables en función de su ubicación.

#### ➤ **Características no estructurales:**

Los detalles no estructurales vistos en fachada, como los vierteaguas, están presentes en la mayoría de edificios, ya que permiten mejorar los acabados y proteger contra el agua, los puntos por donde podría llegar a filtrarse.

En las áreas geográficas donde no llueve habitualmente, el agua arrastra la suciedad y al no tener un lavado continuo termina dejando manchas. En el caso de fachadas más porosas, como por ejemplo las revestidas con monocapa, tienden a ensuciarse con mayor frecuencia. Para evitar este tipo de problemas, existe una normativa específica de colocación de albardillas, en las que se requiere un voladizo con un goterón en el extremo para evitar la esorrentía vertical del agua en fachada. Además, un buen estudio de la recogida de pluviales desde cubierta hasta el punto de vertido en el vial, por medio de bajantes y canalones; reduce el impacto visual en forma de manchas o filtraciones en fachada y carpinterías.

Tal es la importancia para este tipo de detalles que aparecen reflejados en el CTE para que no se produzcan problemas de acabados en las fachadas.

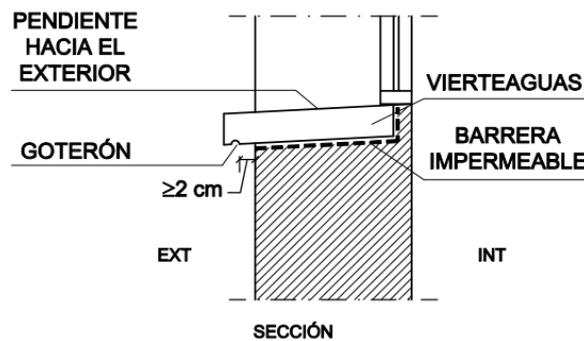


Ilustración 8. Detalles de acabados para carpinterías. Fuente: Código Técnico de La Edificación- Documento Básico. Salubridad, 2019

➤ **Características estructurales:**

A la hora de definir la planta y secciones de los edificios, ya sea por preferencias personales, facilidades constructivas o bien por imposición del promotor o ayuntamiento; puede ocurrir que la ubicación de algunos elementos estructurales, incrementen la vulnerabilidad por encontrarse más expuestos al ambiente exterior. La solución dependerá de las necesidades del edificio y de su localización en el mapa.

La presencia de un voladizo de gran superficie en el caso de las terrazas, si sobresale mucho respecto de la fachada, siempre será más vulnerable que un balcón retranqueado en fachada, ya que está mucho más expuesto a la intemperie. Así también, un frente de forjado visto o revestido únicamente con pintura, quedará mucho más expuesto que si está revestido, sobre todo porque estos zunchos perimetrales deben quedar bien resueltos para que no den problemas a posteriori.

Por otra parte, tenemos los ejemplos de los pilares de estructura vistos, es decir, que son apreciables desde fuera del edificio y no están “envueltos” y protegidos por la fachada. Estos pueden darse el caso en pilares, o muy comúnmente en plantas bajas que tienen como uso principal el aparcamiento de vehículos privados. Ya sea por motivos económicos u otros, existen estos casos en zonas costeras en los que la planta baja no está revestida y queda totalmente a la intemperie, dejando los pilares vistos desde el exterior y sin protección añadida frente al aerosol marino. Se opta por dar estas soluciones debido a que la ejecución de aparcamientos subterráneos cerca del litoral mediterráneo, incrementa el coste por la presencia de terrenos con peores capacidades y la seguridad de reforzar y drenar debido a la presencia del nivel freático.

### **3.12. Estado de conservación, mantenimiento y rehabilitación**

Este apartado trata el punto que más influye a la vulnerabilidad de un edificio, ya que si no muestra ningún tipo de daño y su ejecución ha sido la adecuada, lo más probable es que resista con mayores capacidades frente al aerosol marino. Por otra parte, y no menos importante, es la función de rehabilitación y mantenimiento de la construcción.

Se considera mantenimiento a todas las labores enfocadas a la conservación funcional y física de una construcción a lo largo de su vida útil. Un mantenimiento preventivo cuenta con la capacidad de poder programarlo en el tiempo y como consecuencia poder ser presupuestado. Se evaluarán las características más deficientes de los edificios o posibles problemas que puedan surgir. Por otra parte, el mantenimiento correctivo engloba a todas esas actuaciones de reparación, que no han sido previstas y han surgido de forma inesperada por lo que deben ser ejecutadas con la mayor rapidez posible.

Es importante realizar un mantenimiento preventivo principalmente por aspectos económicos, ya que si el estado alcanza un punto de no retorno y con más urgencia, la intervención será mucho más costosa que si no se ejecuta periódicamente. La falta de un adecuado mantenimiento provoca el envejecimiento prematuro de los edificios.

En cuanto a la rehabilitación, se puede afirmar que la diferencia fundamental entre esta y el mantenimiento (o conservación) consiste en que las intervenciones de rehabilitación tienen la finalidad de mejorar las condiciones de habitabilidad, salubridad, confort, o incluso, estéticas, si bien, pueden alterar las características morfológicas del edificio.

## **4. ESTUDIO DE VULNERABILIDAD DE OROPESA DEL MAR**

### **4.1. Introducción**

Tras haber expuesto en los apartados anteriores, el proceso de deterioro que sufre una construcción situada junto al mar y lo vulnerable que puede llegar a ser, por la existencia de diversos parámetros que afectan en mayor o menor medida sobre ésta; en este apartado se va a tratar el estudio de una localidad concreta que presenta dichas condiciones para conocer el estado en el que se encuentra y cómo se ve afectada por los parámetros que actúan.

Como se ha comentado en el apartado 2 en el que se comparaban las diferentes instrucciones de hormigón, no en todas ellas se enfocaba con la misma importancia la agresividad del ambiente marino. Con los años también se han mejorado las características constructivas, los materiales y algunos detalles constructivos (como la presencia de goterón en los vierteaguas) que mejoran la calidad y la durabilidad de una edificación.

Por todo ello, en este capítulo se va a estudiar el estado del parque inmobiliario de Oropesa del Mar, una población costera que cuenta con muchas viviendas de segunda residencia. Para conocer las condiciones en las que se encuentran las construcciones se recolectarán todos los datos necesarios que aporten información sobre su vulnerabilidad, como los que se han comentado anteriormente, además de una toma de datos de cada edificio que se realizará in situ y cuyo procedimiento se explicará más adelante.

Finalmente, una vez recopilados todos los datos necesarios, se va a determinar un factor de vulnerabilidad, que resuma la capacidad o el grado de afección que puede sufrir una edificación en ambiente marino en función de múltiples variables.

## 4.2. Descripción de la localidad de oropesa del mar

La población de Oropesa del Mar se encuentra en la provincia de Castellón de la Plana, a unos 20 kilómetros al Nordeste de la ciudad de Castellón. Esta localidad cuenta con 12 kilómetros de costa los cuales incluyen 7 playas: playa de Bellver, playa de la Renegà, playa les Ampliaries (Marina D'Or), playa Morro de Gos, playa de la Concha, cala la Vella y cala del Retor. Sin embargo, el espacio donde se encuentran la mayoría de construcciones es a lo largo de unos 5 km de costa, entre la playa de la Concha y la playa les Ampliaries.

Oropesa del Mar cuenta con una población de 9.500 habitantes empadronados, que en verano pueden llegar a convertirse en 150.000 personas (datos de EMC<sup>2</sup>) las que habitan durante este periodo de tiempo, lo que representa más de un 90% de viviendas vacías durante gran parte del año. Se trata de una localidad eminentemente turística y que, gracias a ello, su población ha aumentado considerablemente durante los últimos 20 años. La gran afluencia de gente durante el periodo estival generó la creación de muchos comercios y oficinas inmobiliarias, además de personas en edad de jubilación que han decidido hacer de Oropesa su lugar de residencia debido al buen clima y a la proximidad con una ciudad como Castellón, que cuenta con todos los servicios. En la siguiente gráfica se muestra el aumento demográfico que se ha producido, además, también muestra el pico de población el cual coincide con el final de la burbuja inmobiliaria y el comienzo de la crisis, por ello el consecuente descenso en el censo.



Figura 2. Evolución demográfica de Oropesa del Mar. Fuente: Propia, datos del INE.

En este estudio nos vamos a centrar en la playa de la Concha que cubre aproximadamente 1 km de costa, del cual unos 800 metros los conforman la playa de arena y la longitud está formada por acantilados.

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

En el área residencial se diferencian dos tipos de características orográficas: serranía y planicie. La zona de serranía, es conocida como aquella en la que existen montañas y sierras y se encuentra en los tramos Sur y Norte de la Playa de la Concha, mientras que en la parte central predomina la planicie, que se define como un terreno llano, especialmente de gran extensión. Este factor es importante porque en función de la topografía de la costa, los efectos de fricción producidos por el viento son más o menos acusados.

Esta playa se caracteriza por ser principalmente turística, ya que hasta mediados del siglo XX apenas había viviendas y la única zona poblada era la del casco antiguo. Este déficit de edificación en la Concha hasta la llegada del turismo se debe a dos circunstancias:

- Alta presencia de ataques piratas durante varios siglos.
- Tierra de cultivo de baja calidad, en una zona en la que predominaba el sector agrícola y por lo tanto no interesaba.

En las siguientes imágenes se puede apreciar cómo cambia esta playa en los últimos 50 años como consecuencia del turismo y de las empresas inmobiliarias, aprovechando al máximo el poco espacio con el que cuenta La Concha construyendo edificios de gran altura, ya que las vías del tren se sitúan muy cerca de la costa y detrás de esta no han existido fuertes inversiones inmobiliarias.



Imagen 8. Fotografía histórica de mediados del S.XX de Oropesa del Mar. Fuente: Ayuntamiento Oropesa del Mar.



Imagen 9. Fotografía del estado actual de la costa de Oropesa. Fuente: Ayuntamiento de Oropesa del Mar.

Además de los altos edificios, también se puede ver en la parte inferior de la imagen, la presencia de un nuevo puerto deportivo como consecuencia de la atracción turística.

A diferencia de otras localidades costeras, la playa de La Concha no ha seguido una distribución ordenada desde el punto de vista urbanístico, es decir, no hay una zona que se edificara antes que otra tras un plan de urbanización, sino que se ha ido construyendo a lo largo de toda la playa, adaptándose a la sinuosidad de la costa y aprovechando todos los espacios posibles, sin tener en cuenta situaciones futuras. Tampoco ha seguido un orden de alturas, especialmente en la cara Norte de la playa, en la que se van alternando edificios de 3 o 4 alturas con edificios de hasta 18 alturas, provocando así una vista irregular.

### **4.3. Parámetros de vulnerabilidad**

La obtención de los valores que marcan la mayor o menor vulnerabilidad de un edificio se ha realizado tomando como referencia el estado en el que se encuentran actualmente las construcciones. Llevando a cabo múltiples iteraciones y siguiendo una coherencia basada en la experiencia de las inspecciones y en bibliografía científica consultada, se han ido ponderando cada una de las variables consideradas.

Cada valoración se estudiará tomando como referencia el resto de variables y comparando entre ellas la magnitud que puede tomar cada una respecto a la otra. Además se debe tener en cuenta que existen algunas variables que son cuantitativas, como por ejemplo si el edificio tiene el frente de forjado visto o no, o si los pilares en planta baja son vistos; mientras que otras variables

cualitativas se verán definidas teniendo en cuenta un pequeño margen de error, el cual se tratará de disminuir al máximo.

A continuación, se presentan las variables de las que dependen los estados en los que se encuentran las construcciones y que se han explicado en el capítulo anterior. Para ello se especifican los valores de cada parámetro en la localidad que se está estudiando.

#### 4.3.1. DISTANCIA AL MAR DE LAS EDIFICACIONES

Como se ha comentado anteriormente, la distancia al mar es un factor muy importante por la presencia de cloruros en el ambiente en función de esta longitud. Se sabe que a partir de los 100 metros de distancia al mar la concentración de sales es mucho menor pero cuando la distancia es menor, existe una variabilidad de resultados muy grande, por ello se van a mostrar los datos de distancias de la siguiente manera, diferenciando en 3 rangos (0-50, 50-100, >100 m) la separación entre el edificio y el mar. Con estas 3 categorías se pretende diferenciar correctamente las vulnerabilidades de las construcciones según la distancia, adaptándose al gráfico de concentración de cloruros mostrado anteriormente.

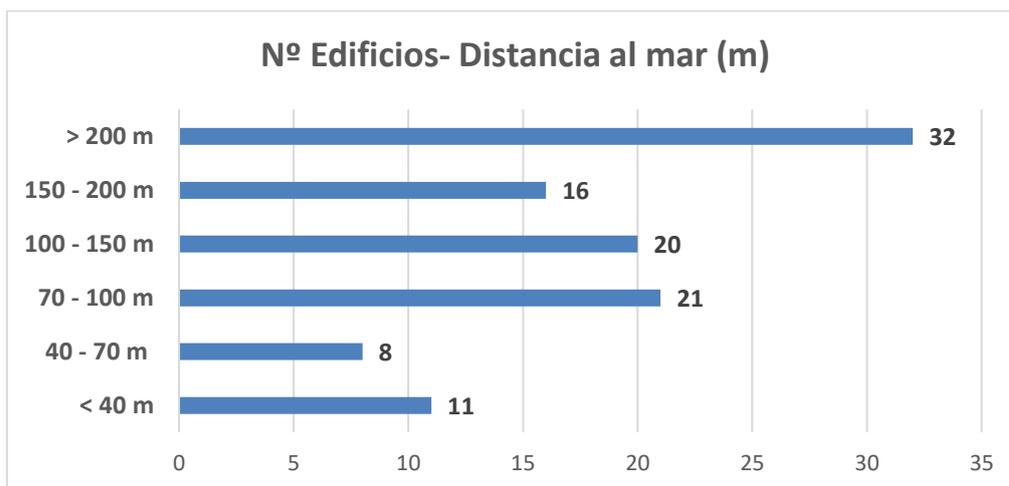


Figura 3. Distancia al mar de edificios. Fuente: Propia.

Las longitudes se han medido a través del programa informático Google Earth en un periodo de bajamar por lo que podría ser que la distancia al mar fuera menor en otros momentos a lo largo del año. Por otra parte, se han recogido los valores de salinidad en la boya más cercana que aporta este valor (Tarragona) y muestra unos niveles que se encuentran dentro de la normalidad en el Mar Mediterráneo, con 38 psu (las siglas en inglés de unidades prácticas de salinidad), lo equivalente a 38 g de NaCl por litro.

Los valores ponderados para obtener la vulnerabilidad son muy distantes unos de otros en este caso ya que hay mucha variación en la concentración de cloruros. Como se ha visto anteriormente, la salinidad sigue una ley exponencial, por tanto, a partir de una distancia de 100 m de la costa, la afección se reduce considerablemente.

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

Por ejemplo, un edificio situado a 50 metros de la línea de mar, tendría una concentración de cloruros aproximada de 0,0001322 mg Cl/m<sup>2</sup>. Un edificio situado a 150 metros de la línea de costa tendría una concentración de cloruros igual a 0,0000574 mg Cl/m<sup>2</sup>.

La relación entre ambos valores proporciona que el primero tiene un 230% más de cantidad de mg de cloro, por lo que la ponderación de la vulnerabilidad debe ir acorde a estas diferencias tan grandes.

*Ponderación de la distancia al mar:*

- *Edificios entre 0 – 50 metros de la costa: 6*
- *Edificios entre 50 – 100 metros de la costa: 2*
- *Edificios a más de 100 metros de la costa: 1*

### 4.3.2. DIRECCIONES Y VELOCIDAD DEL VIENTO

Estos parámetros erosionan las superficies de las edificaciones y transportan los componentes salinos del mar. Se han obtenido de la web de Puertos del Estado (*Es-@ Wwww.Puertos.Es*, 2017), de la bolla más cercana a esta playa, la media en el periodo 1958-2016 en todas las estaciones.

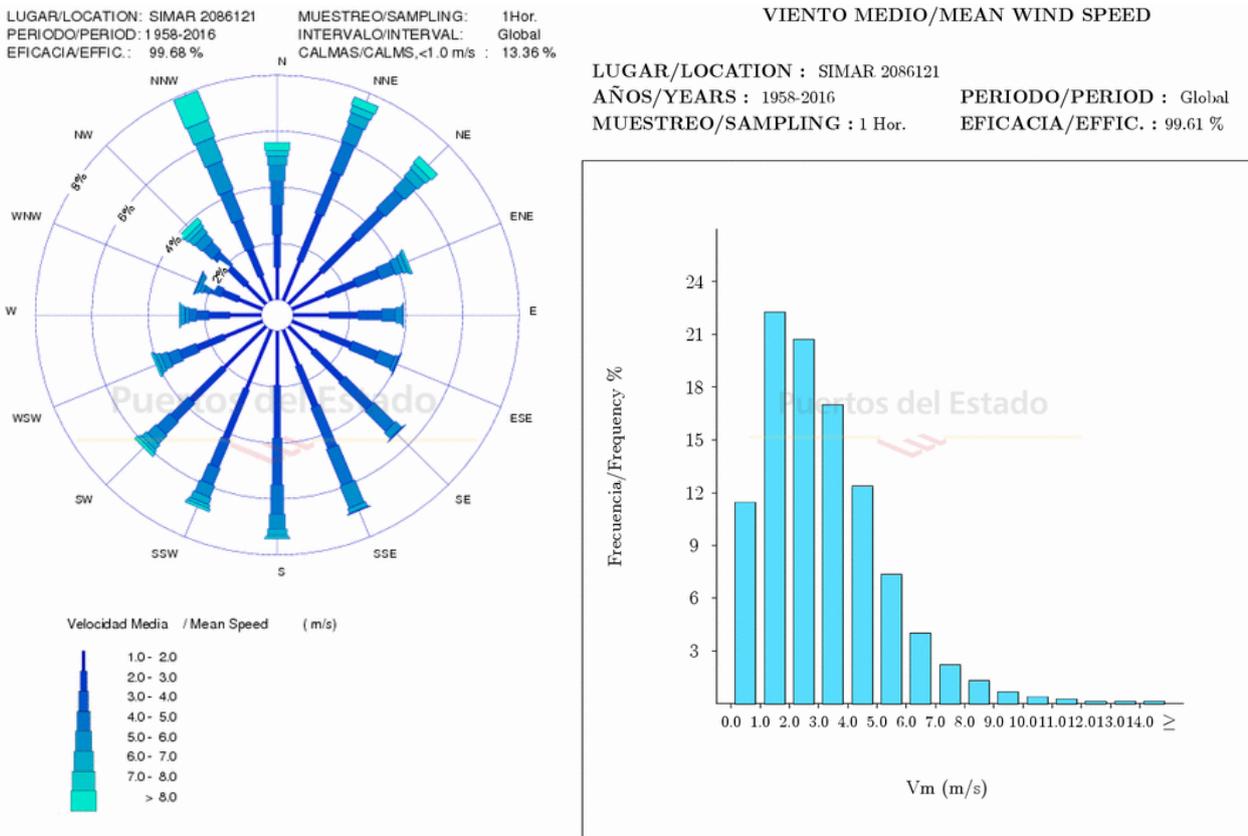


Imagen 10. Rosa de los vientos y velocidad media. Fuente: Puertos del Estado [www.puertos.es/2017es](http://www.puertos.es/2017es)

Debido a la orientación de la costa, el viento afectará principalmente en las direcciones que provienen del Sudoeste, Sur y Sudeste; y en menor magnitud las direcciones Este y Oeste ya que la velocidad en estas es mucho menor. A pesar de esto, se le proporciona un valor mayor al Este que al Oeste, por la orientación de la costa. No se descartan aquellas de componente Norte; a pesar de que la costa está orientada al Sur y al Este principalmente, la componente NE es muy frecuente y debe generar un importante aporte de sal marina sobre el área estudiada.

En el gráfico derecho podemos ver como en lo referido a frecuencia, más del 40% tiene una velocidad media del viento mayor a 3m/s, el valor que se toma como mínimo para que cuente con la suficiente potencia para transportar la niebla marina (G.R. Meira, *et. al.*, 2003 ).

Esta variable está directamente relacionada con la de distancia al mar y situación respecto a la línea de costa, ya que, aunque el viento sea de gran magnitud, puede verse impedido por un obstáculo o que pierda intensidad y del propio peso de la partícula, descienda al suelo si las

construcciones estuviesen lejos de la costa. Por lo tanto, al viento se le aplicará un único valor para todas las edificaciones, que al ir multiplicado por los dos parámetros comentados nos dará la vulnerabilidad acertada para cada uno de ellos.

En las siguientes gráficas se muestra el número de edificios cuyas fachadas están orientadas a cada punto cardinal.

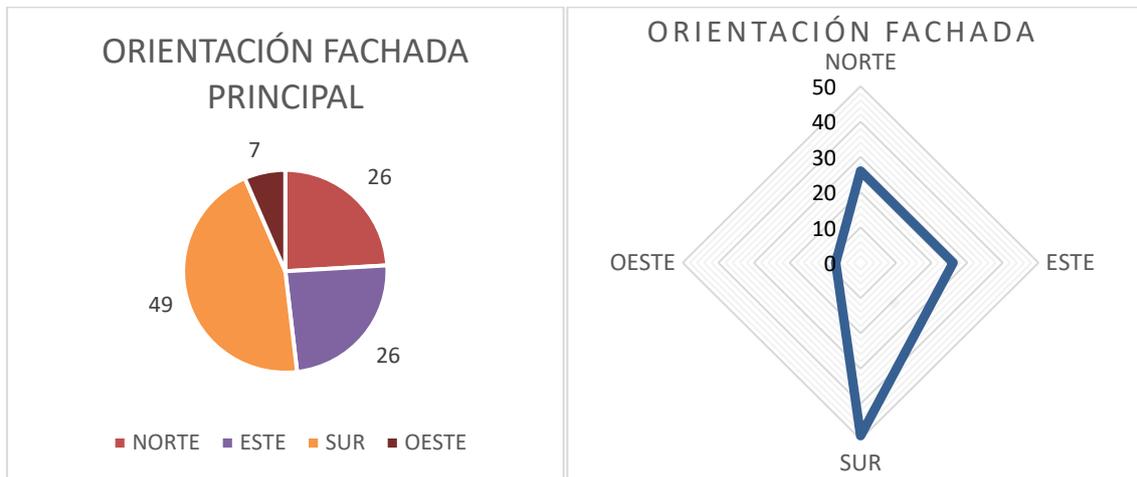


Figura 4. Orientación de fachada principal. Fuente: Propia, datos tomados en Fichas de inspección.

#### *Ponderación del viento:*

- *Orientación fachada Norte: 2,5*
- *Orientación fachada Sur: 3,5*
- *Orientación fachada Este: 2,5*
- *Orientación fachada Oeste: 1,5*

#### 4.3.3. SITUACIÓN RESPECTO A LA LÍNEA DE COSTA

Cabe la posibilidad de que un edificio que se encuentre más cercano al mar que otro y sin embargo sufra un menor deterioro; esto puede ser debido a su situación respecto a otros edificios, los cuales impidan el transporte de los cloruros.

Los edificios situados en primera línea costera suelen tener un comportamiento de pantalla frente a la atmósfera marina, impidiendo que los cloruros circulen hacia el interior del territorio. En el caso de Oropesa, los edificios de primera línea cuentan con una altura considerable y la separación entre ellos es reducida por lo que ejercerán la función de pantalla.

Para poder estudiar la vulnerabilidad de los edificios frente a esta variable, estos se han repartido en 4 bloques: primera línea, segunda línea, tercera línea o más; con un valor de mayor

a menor vulnerabilidad. Se han estudiado los edificios de manera individual, esto significa que, en casos concretos, algún edificio ha sido calificado como de primera línea a pesar de tener alguna construcción delante de éste. Se ha llevado a cabo de esta manera debido a que éste tenía una altura o una amplitud poco representativa y apenas iba a impedir el transporte de sedimentos sobre la edificación situada tras él.

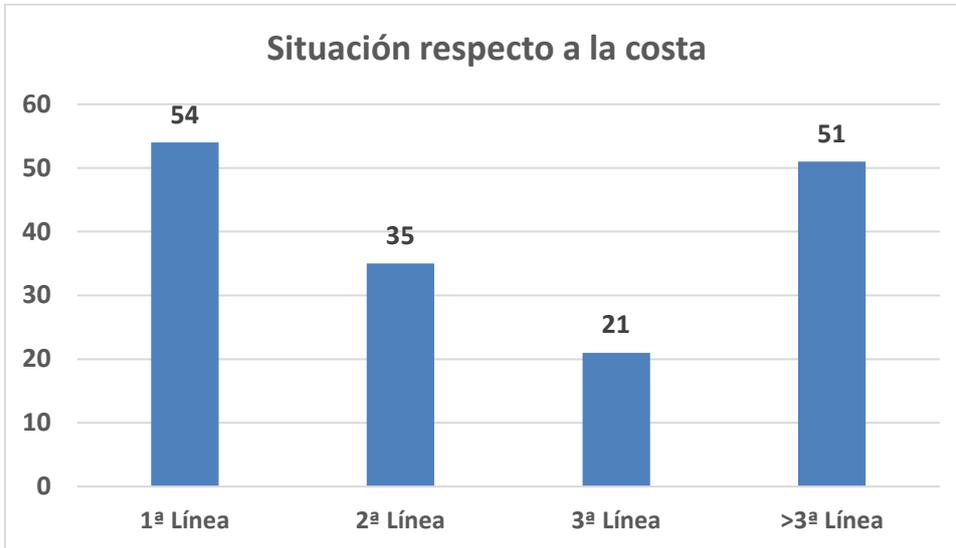


Figura 5. Ubicación de los edificios respecto a la costa. Fuente: Propia, datos tomados en las fichas de inspección.

Como puede verse, hay un gran número de construcciones en primera línea. Además, una vez realizadas las inspecciones de campo podrá comprobarse la forma en la que afectan los edificios entre ellos al régimen de vientos y con ello la afección del ambiente marino.

A la hora de ponderar estas cuatro variables, cómo se ha indicado anteriormente hay edificios que se han tomado como 1ª línea a pesar de no estarlo, dado que están sometidos a una afección como si lo estuvieran. Este parámetro es muy importante y se estudiarán casos de forma individual en los que la separación entre un edificio y otro sea mayor o menor y pueda influir al transporte de sales.

*Ponderación de situación respecto a línea de costa:*

- 1ª Línea: 8
- 2ª Línea: 4
- 3ª Línea: 2
- >3ª Línea: 1

#### 4.3.4. TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES

A continuación, se presenta la climatología existente en Oropesa del Mar, valores de temperatura y precipitaciones con los que se pretende conocer el modo en el que afectan a la vulnerabilidad de los edificios.

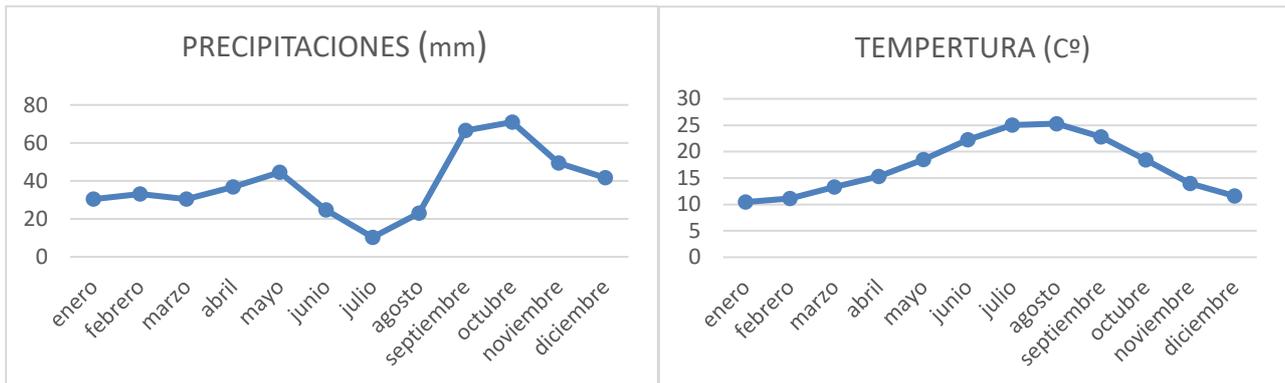


Figura 6. Precipitaciones y temperaturas. Fuente: Aemet

Para la obtención de los datos se han tenido en cuenta dos fuentes, tanto para las lluvias como para la temperatura. Se ha obtenido la media entre los valores proporcionados por Aemet ([www.aemet.es](http://www.aemet.es), 2017) entre 1981 y 2010 (no se han encontrado valores previos fiables), cuyo centro de meteorología más cercano es el de Castellón y otros datos tomados por la web [climate-data](http://climate-data.org) ([www.climate-data.org](http://www.climate-data.org), 2017) de Oropesa del Mar del año 2016. Tras realizar la media entre ambos valores se ha podido comprobar que los resultados eran prácticamente idénticos y, por lo tanto, se adoptan como válidos.

Como muestra el gráfico izquierdo (Fig. 6), la mayor cantidad de precipitaciones se producen en los meses de Septiembre y Octubre, donde suele aparecer el fenómeno de la “gota fría”. Como se podrá ver en las imágenes de los edificios analizados, el agua provoca un gran número de daños, tanto superficiales generando manchas en fachadas como penetrando en la estructura y provocando corrosión de las armaduras.

En el caso del gráfico derecho (Fig. 6), la variación de la temperatura media a lo largo del año puede variar más de 15 grados. Estas variaciones térmicas pueden generar daños en las fachadas afectando a la vulnerabilidad de los mismos.

Como el área de estudio es muy reducida, se le asocia el mismo valor de climatología a todos los edificios. Este valor tendría sentido siempre y cuando se fuera a comparar con otras poblaciones con características climatológicas diferentes.

- *Ponderación de la climatología: 1.*

#### 4.3.5. MORFOLOGÍA DEL LITORAL

El espacio que engloba a los edificios estudiados cuenta con varias morfologías geográficas. Los bloques construidos se han ido adaptando según la morfología de la costa y los viales adaptados a esta distribución. En el caso de esta localidad, la costa estudiada incluye dos orografías totalmente distintas:



Imagen 11. Toma aérea de la costa de Oropesa. Fuente: Google Earth.

- Una zona se encuentra junto a una extensa playa, es decir en una planicie en la que toda el área que abarca esta costa, cuenta con edificios prácticamente a la misma cota de arranque. Esta situación genera que las fachadas de primera línea no tengan ninguna protección frente a la agresión del mar, sin embargo, esta agresión es reducida ya que existe una separación considerable entre mar y edificio.
  - La segunda zona se encuentra en un litoral rocoso con acantilados. En esta área los edificios se encuentran a diferentes alturas por ser una zona montañosa. A pesar de que las fachadas de primera línea están a mayor altura respecto del nivel del mar, el continuo oleaje que rompe contra estas rocas, provoca que el aerosol marino ascienda de una forma más brusca. Por otra parte, en el caso de las viviendas de estas zonas acantiladas, la distancia entre ellas y el mar es mucho menor que en la zona de playa, ya que en este caso no hay presencia de arena a simple vista y la marea rompe continuamente contra la roca, elevando las partículas hacia arriba.
- *Ponderación litoral en llanura: 0,5*
  - *Ponderación litoral rocoso: 0,5*

#### 4.3.6. “EDAD” DE LAS CONSTRUCCIONES

Oropesa del Mar ha sufrido un gran crecimiento urbanístico desde finales de la década de 1950 y no ha dejado de crecer hasta la llegada de la reciente crisis económica y financiera, producida por la burbuja inmobiliaria y porque apenas quedan parcelas libres por edificar cerca de la costa. La playa de la Concha fue la primera zona en la que se comenzó a desarrollar el turismo residencial, seguido de la playa de Morro de Gos y más tarde apareció Marina D’Or.

En la playa de La Concha aparecen edificaciones correspondientes a todos los periodos constructivos desde mitad del siglo XX. Para poder analizar mejor las características de los mismos, se ha dividido estos periodos en función de las fechas en las que se presentaron las distintas instrucciones de hormigón armado. Con ello, se pretende mostrar la calidad de las estructuras de HA, puesto que, con la evolución de las normativas, ha mejorado la calidad de los hormigones utilizados y del recubrimiento de las armaduras, con lo que las construcciones, en principio, deben ser más seguras.

Es cierto que como muestran los valores posteriores, el área de la Concha no ha dejado de evolucionar, sin embargo, sí que se observan etapas en las que el crecimiento ha sido mucho más masivo que en otras. Por ejemplo, se pueden destacar los últimos años de la década de 1980 y principios de 1990, en los que en apenas 3 años se levantaron un total de 20 edificios con fines turísticos, prácticamente los mismos que en los 8 años anteriores.

Las construcciones correspondientes al último periodo (1999-actualidad), por lo general son aquellas que se encuentran más alejados de la primera línea de costa, ya que ésta es la primera que se había edificado debido a la proximidad a la playa.

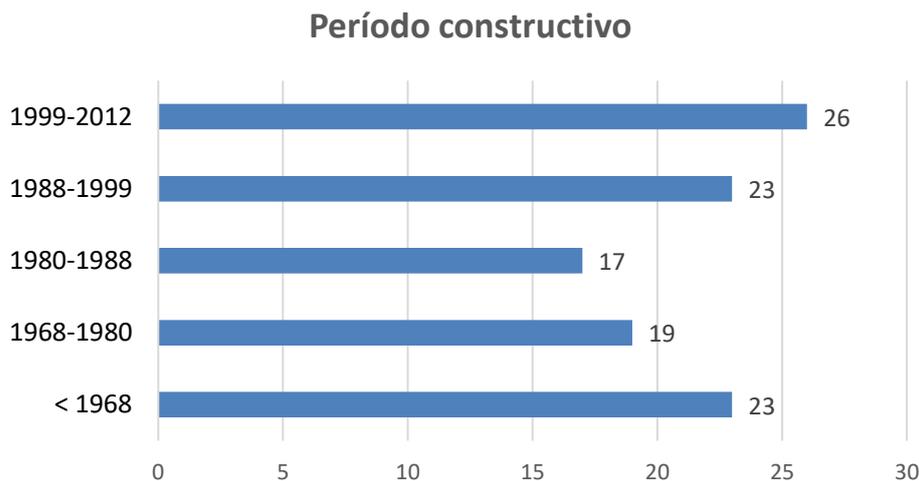


Figura 7. Periodo constructivo de los edificios estudiados. Fuente: propia, datos obtenidos del Catastro.

Como puede verse en la figura nº7 hay un gran número de viviendas que ya superan los 50 años desde su construcción. El Código Técnico de la Edificación establece en medio siglo la duración útil estándar, es decir, la etapa de servicio normal de una estructura de edificación. La misma duración es aplicada por el Eurocódigo para estructuras de edificios y otras estructuras

normales, por lo que se deberán analizar y tener muy en cuenta el estado de estas construcciones de cara a los próximos años.

Tabla 4. Vida útil de las edificaciones.

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

Fuente: *Instrucción EH-08*, 2008.

El motivo de escoger 5 periodos diferentes está relacionado con las normativas de hormigón existentes en esos años. Cada rango de edades del edificio corresponde a una normativa diferente, lo que las hace que las edificaciones construidas en ese periodo, conforme a una determinada normativa, presenten unas características similares que las haga más o menos vulnerables, frente al ambiente marino, tanto por condiciones de recubrimiento mínimo como por motivos del propio material, como la restricción mínima de la relación agua/cemento.

Por este motivo, se deciden dar pesos diferentes de vulnerabilidad según la edad de las construcciones.

*Ponderación de la edad de los edificios:*

- *Edificios construidos antes del año 1968: 8*
- *Edificios construidos entre 1968 y 1980: 4*
- *Edificios construidos entre 1980 y 1988: 2*
- *Edificios construidos entre 1988 y 1999: 1*
- *Edificios construidos después del año 1999: 0,5*

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*



Imagen 12. Edad de los edificios. Fuente: ArcGis

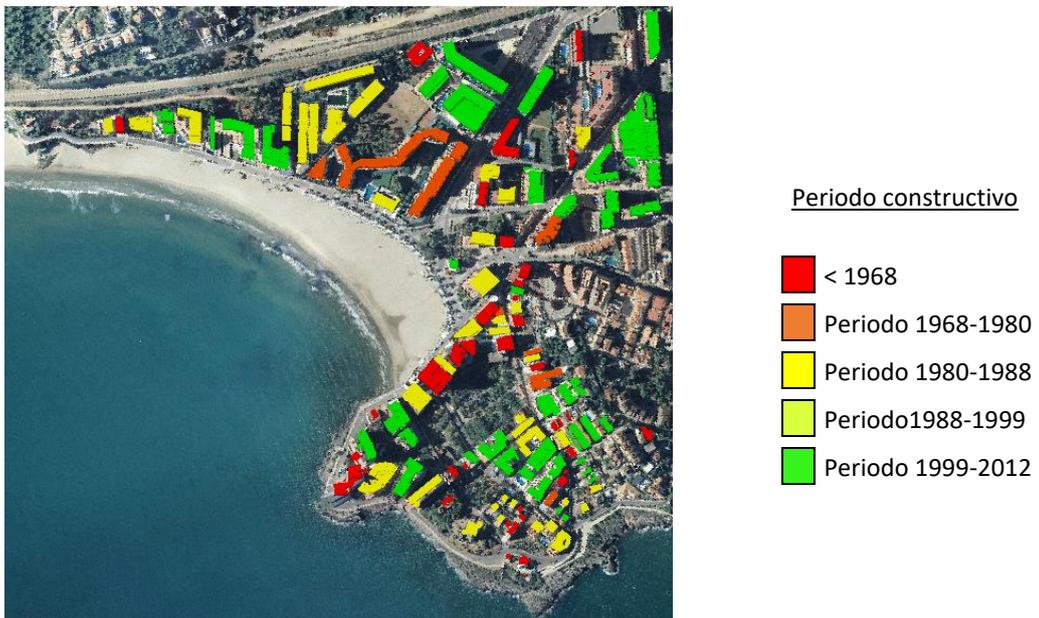


Imagen 13. Edad de los edificios. Fuente: ArcGis

#### 4.3.7. MATERIAL ESTRUCTURAL

Dentro de este apartado de tipologías vamos a englobar varios parámetros que afectan a la vulnerabilidad del edificio, factores referidos al edificio en su conjunto o a detalles constructivos que pueden afectar en mayor o menor medida a la construcción.

Los parámetros globales que afectan a todo el edificio se definen a continuación:

- **Modelo estructural y material utilizado**

Al igual que en la mayoría de ciudades de España, en Oropesa también predomina la estructura porticada en sus edificios, concretamente en aquellos con más de 2 alturas. Más del 90% de los edificios inspeccionados cuentan con este sistema estructural. Tras observar las construcciones se podría decir que la gran mayoría son de hormigón armado por las dimensiones de sus pilares; sin embargo, en otros casos es difícil determinar a simple vista que material se ha utilizado en su estructura.



Imagen 14. Edificio en construcción. Fuente: Propia

Esta tipología constructiva es tan utilizada debido a la gran libertad en la distribución de los espacios internos del edificio y al gran conocimiento que se tiene de este sistema constructivo; sin embargo, estas estructuras son muy flexibles, por lo que sufren importantes deformaciones que producen daños en los elementos no estructurales, mucho más rígidos, como son los cerramientos y la tabiquería interior, lo cual se ha podido observar en muchos de los edificios estudiados.

El uso del hormigón armado con este sistema estructural se sistematizó debido a las mejoras en los métodos de cálculo, permitiendo disminuir la cuantía de acero en armaduras y así abaratar el coste. Son estos los principales motivos por los que se elige realizar las estructuras en

hormigón armado con más frecuencia que en acero, a pesar de que ambas cuentan con ventajas e inconvenientes.

También se ha encontrado alguna vivienda unifamiliar cuya estructura se ha ejecutado con bloques (de hormigón, termoarcilla, etc.) por lo que en el caso de existir corrosión se encontraría en la cimentación o en la cubierta en el caso de que estuviera compuesta con losas y vigas. Esto reduce la vulnerabilidad de la construcción frente al ambiente marino, ya que si el sistema estructural de cerramiento se debilita sería por otras causas diferentes a la corrosión.

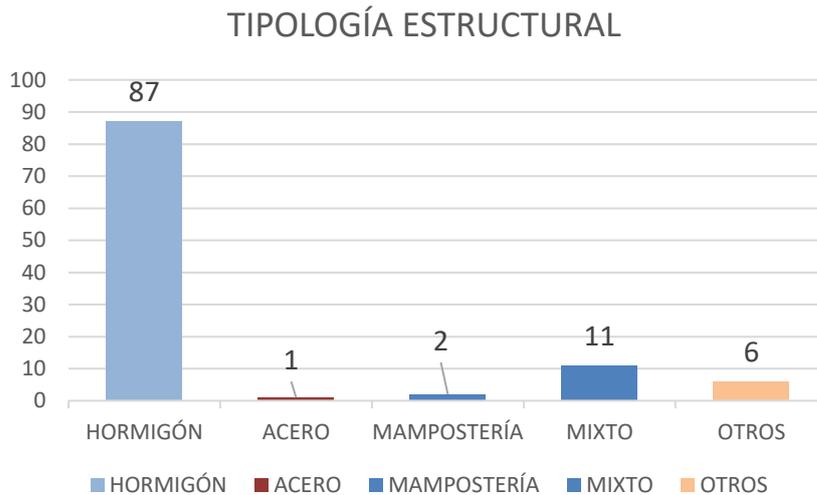


Figura 8. Tipología estructural de los edificios estudiados. Fuente: Propia, datos tomados en las fichas de inspección.

#### *Ponderación del modelo estructural y el material utilizado*

- Edificios construidos con acero: 2
- Edificios construidos con hormigón: 1
- Edificios construidos con ambos materiales: 1,5
- Edificios construidos con bloque de hormigón, termoarcilla, otros: 0,5

#### **4.3.8. TIPOLOGÍA URBANÍSTICA DE LA EDIFICACIÓN**

En el estudio de esta población, se aprecia como las características urbanísticas siguen el mismo patrón que en la mayoría de localidades costeras de la C. Valenciana, con gran afluencia turística. Está compuesto por grandes bloques de apartamentos en las primeras líneas de playa. A continuación, se muestra la tabla recogida, con las distintas modalidades de urbanización en función de la parcela edificada.

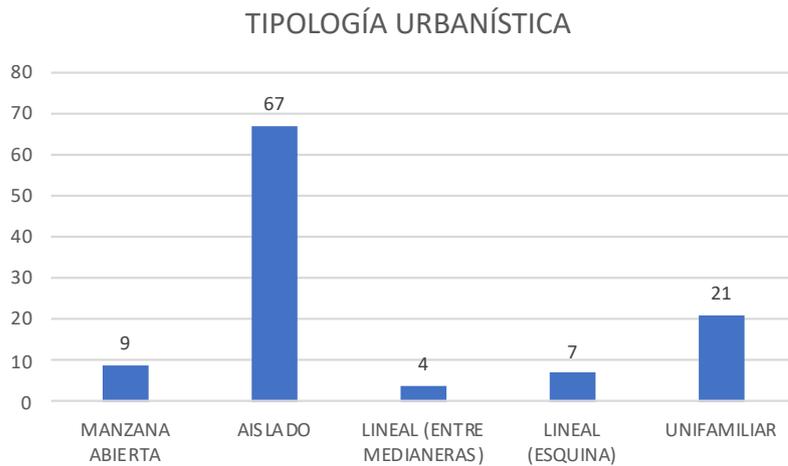


Figura 9. Tipología urbanística de los edificios estudiados. Fuente: Propia, datos tomados en las fichas de inspección.

Como se puede ver en la tabla, predominan los edificios aislados o exentos. Estos bloques tendrán mayor vulnerabilidad al ambiente marino que los bloques lineales, por ejemplo, ya que tienen la totalidad de sus caras de fachada expuestas. Destaca el hecho que no hay presencia de ninguna manzana cerrada en el área estudiada, ya que en muchas ciudades es la tipología predominante. Si que es cierto que se han encontrado manzanas abiertas, con el patio interior prácticamente aislado en su totalidad, quitando un par de accesos para vehículos o peatones.

Este tipo de manzanas abiertas, serán las más desfavorables, ya que cuanto más cerrado es el espacio que queda confinado entre bloques, menos ventilación tendrá y por lo tanto, la humedad y los cloruros estarán más tiempo presentes en esta zona (Moreno, 2016).

Por otra parte, en el caso de los bloques lineales, será mayor la vulnerabilidad al aerosol marino en los edificios situados en esquina que los que se encuentren entre medianeras.

#### *Ponderación de la tipología urbanística de la edificación*

- Edificios con manzana abierta: 2,5
- Edificios aislados: 2
- Edificios lineales entre medianeras: 1
- Edificios lineales en esquina: 1,5
- Edificios unifamiliares: 2

#### 4.3.9. DISTRIBUCIÓN DEL EDIFICIO EN PLANTA

Este parámetro está relacionado con el planteamiento de que, cuanto mayor superficie expuesta al aire, mayor será la vulnerabilidad del edificio a las sales marinas transportadas por el viento. Se debe tener en cuenta también el tipo de fachada ya que no es igual de vulnerable una fachada de un patio interior que si tuviera forma de L. A continuación, se detallan diferentes modelos en planta de los edificios y se les dará un grado de vulnerabilidad en función de la superficie expuesta y la orientación de estas.

Un ejemplo claro está en los edificios escalonados, en los que la fachada resulta más expuesta que los edificios verticales. Este modelo de construcción apareció en la década de 1980, al menos en los edificios que se han estudiado, los pertenecientes a esta tipología, todos son posteriores a esta fecha. Lo que se pretende en estos edificios es generar mayor superficie de terrazas en las viviendas, así como evitar reducir el soleamiento en los edificios colindantes y en las calles y zonas comunes.



Imagen 15. Edificio con planta escalonada. Fuente: Propia

### TIPOLOGÍA DE FACHADA EN PLANTA

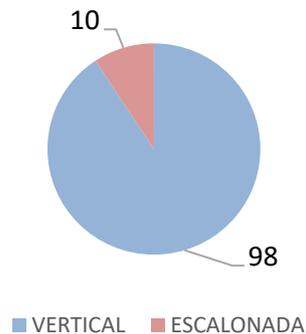


Figura 10. Tipologías de los edificios estudiados. Fuente: Propia.

#### *Ponderación por la distribución en planta:*

- Edificios escalonados: 1,3
- Edificios verticales: 1

#### 4.3.10. TIPOLOGÍA DE FACHADA

A pesar de los distintos periodos de construcción que ha sufrido la localidad, se puede apreciar cómo se ha seguido la misma línea de revestimiento de fachada con el paso de los años. Tanto el aspecto económico como el de rapidez de ejecución en las obras, ha influido en la tipología de materiales en fachada.

En los distintos edificios de Oropesa, se puede apreciar como predomina la aplicación del revestimiento monocapa o enfoscado en su defecto, de la misma forma que en la mayoría de localidades costeras de la Comunidad Valenciana. Así como en localidades de interior se pueden encontrar revestimientos más rurales como podría ser la mampostería, en esta zona apenas aparece.

Los morteros empiezan a verse en España en el siglo XX como un revestimiento exterior derivado del avance y evolución tecnológica de los morteros de cemento. Se trata de una posibilidad diferente al sistema tradicional de enfoscado y pintado que aporta una estética y textura características.

Los componentes que lo forman son conglomerante hidráulico, áridos de granulometría seleccionada y aditivos específicos. Llegan a obra listos para su empleo a mano o proyectados con máquina y poseen en estado fresco una serie de propiedades que les hacen más fáciles de aplicar que los morteros tradicionales. En particular, destacan:

homogeneidad en la mezcla, escasa tendencia a la segregación, alta adherencia, mayor rendimiento y buena capacidad de retención de agua.

Algunas de las edificaciones combinan dos tipologías como puede ser el caravista con el monocapa, proporcionando dos formatos diferentes, generando diseños más complejos, como por ejemplo colocando caravista sobre los zunchos de los balcones.

A continuación, se muestra el número de edificaciones que cuenta con cada tipología de revestimiento de fachada

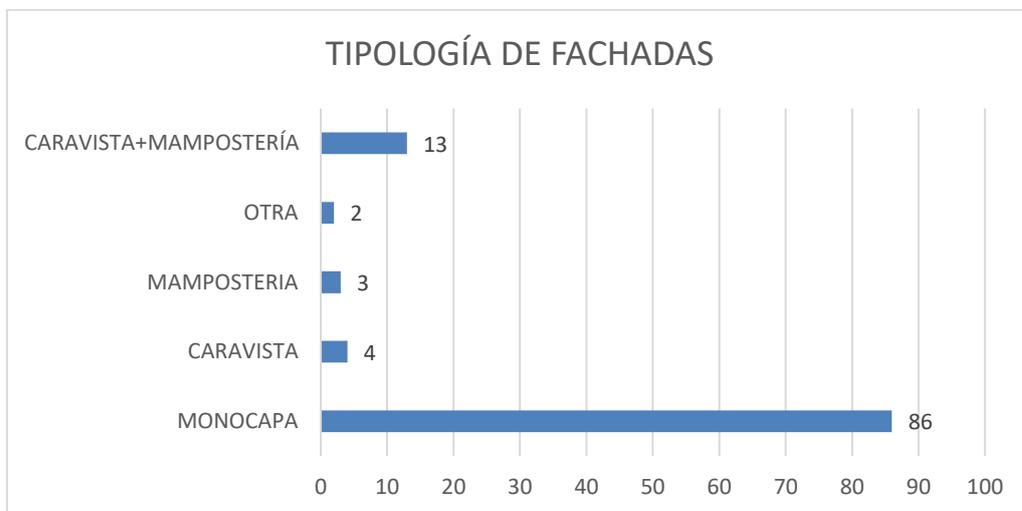


Figura 11. Tipologías de fachada de los edificios estudiados. Fuente: Propia, datos tomados de las fichas de inspección.

#### *Ponderación de la tipología de fachada existente*

- Edificios construidos con Monocapa /enfoscado: 2
- Edificios construidos con caravista: 1
- Edificios construidos con Monocapa y caravista:1,5
- Edificios construidos con Mampostería: 1

#### 4.3.11. ALTURA DE LOS EDIFICIOS

En esta localidad se encuentran construcciones con un gran número de plantas para poder amortizar la inversión y sacar provecho de la edificabilidad de la parcela. En la mayoría de estos edificios se dispone el salón comedor en la fachada orientada al mar y el resto de habitaciones de la vivienda orientadas hacia otros puntos.

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

En las siguientes imágenes se puede apreciar como la altura que alcanzan los edificios es muy elevada en primera línea de costa, ya que el coste de las parcelas es mayor, las constructoras ejecutan edificios muy altos para sacar una mayor rentabilidad económica.

También se ha observado como en la primera imagen, la parte izquierda cuenta con edificios mucho más elevados respecto a la derecha. Esto está relacionado a que los edificios de la izquierda son mucho más recientes y la zona ya se urbanizó con avenidas anchas para que fuera así, al contrario que en la parte derecha, donde las calles son mucho más estrechas.



Imagen 15. Plantas de los edificios estudiados. Fuente: ArcGis



Imagen 16. Plantas de los edificios estudiados. Fuente: ArcGis

De la misma manera que se describe el apartado 4.3.7, la vulnerabilidad de una construcción respecto a su altura viene reflejada por la superficie de la propia edificación. Cuantos más m<sup>2</sup> de fachada más agentes afectan sobre su superficie; a más altura más kg de hierro con posibilidad de sufrir un ataque químico y así sucesivamente.

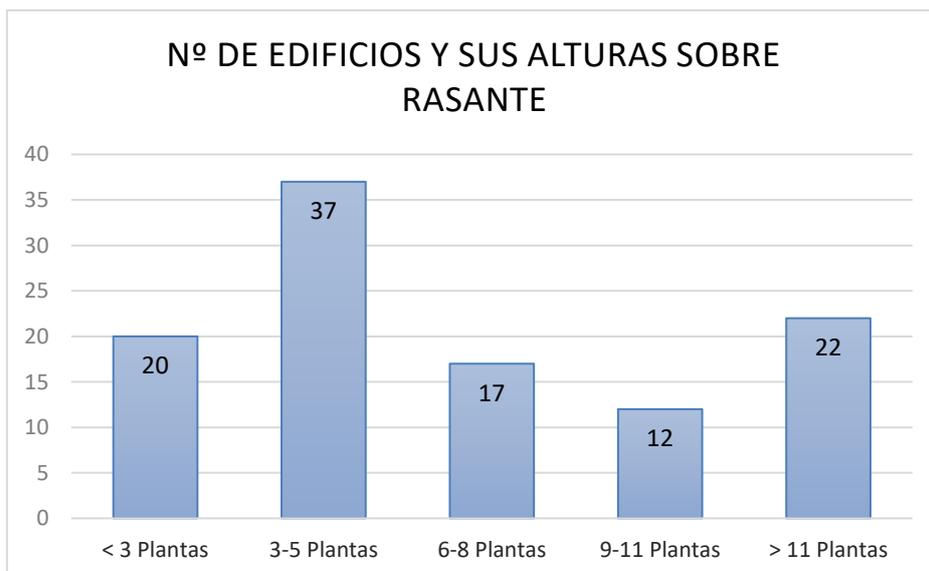


Figura 12. Plantas de los edificios estudiados: Fuente: Propia, datos obtenidos en las fichas de inspección.

#### *Ponderación de la altura de las edificaciones*

- Edificios con menos de 3 plantas: 0
- Edificios con entre 3 y 5 alturas: 1
- Edificios con entre 6 y 8 alturas: 2
- Edificios con entre 9 y 11 alturas: 3
- Edificios con más de 11 alturas: 4

#### 4.3.12. PORCENTAJE DE HUECOS EN FACHADA

En los resultados encontrados del estudio, se puede apreciar como las fachadas con mayor porcentaje de huecos se encuentran en primera línea de costa y con la orientación al mar, por lo que serían las más vulnerables. Las fachadas con un porcentaje 66-99 se refiere a que su fachada principal (la más vulnerable por orientación respecto a viento y mar) está formada prácticamente por uno o varios huecos, generando un acceso entre balcón exterior y vivienda interior que ocupa todo el frente. De esta forma, el diseñador del edificio en su momento, quiso darle a la vivienda una mayor cuantía de luz y una gran importancia de las vistas sobre la costa, que por el contrario afectaba de forma negativa al aislamiento térmico.

Sin embargo, en esta localidad se ha comprobado que predomina un porcentaje de huecos en fachada de entre el 33% y el 66% que supone un número bastante equilibrado entre la luminosidad interior de la vivienda y el aislamiento térmico de la misma. También es cierto que la mayoría de viviendas estudiadas no se encuentran en primera línea o con posibilidades de vistas al mar, ya que, si no fuera así, habría probablemente un mayor número de huecos por vivienda.

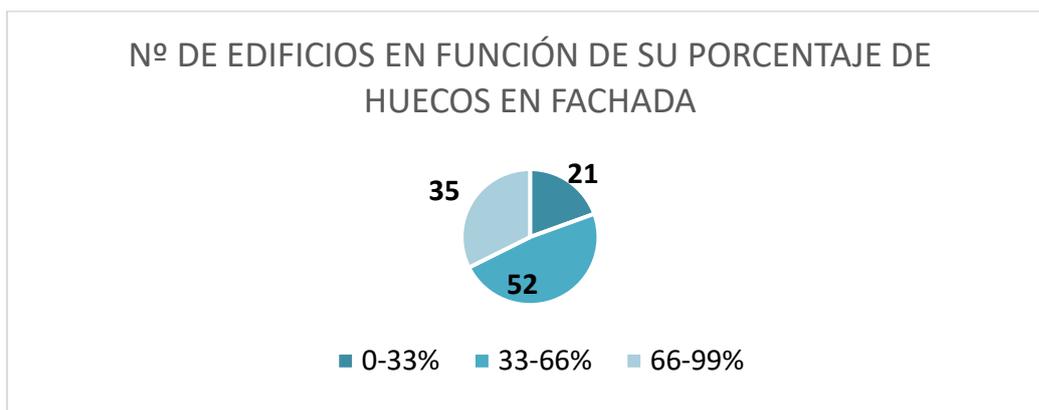


Figura 13. Porcentaje de huecos en fachada de los edificios estudiados. Fuente: Propia, datos obtenidos en las fichas de inspección.

#### *Ponderación en función de los huecos en fachada principal*

- Edificios con entre 66-99% de huecos en su fachada principal: 2
- Edificios con entre 33-66% de huecos en su fachada principal: 1,5
- Edificios con entre 0-33% de huecos en su fachada principal: 1

#### 4.3.13. TIPOLOGÍAS Y DETALLES CONSTRUCTIVOS

Tras realizar las inspecciones in situ de las edificaciones, se ha podido ver que en esta localidad se sigue una serie de patrones constructivos, que se repiten en un gran número de edificios. En función de las características que se han podido observar en las estructuras, como por ejemplo el material constructivo o las prácticas de ejecución seguidas, ya sea según la edad de los edificios o del grado de control seguido en obra, podremos hacernos una ligera idea del comportamiento que han tenido los edificios para que surjan las patologías existentes.

Por lo que se ha podido observar, el hecho de que un edificio tenga una edad más avanzada respecto a otro, no quiere decir que su estado tenga que ser peor, tomando como referencia la fachada. Es cierto que los materiales tienen mayor control ahora y que se conocen mejores prácticas constructivas, así como también la normativa es más restrictiva; pero se han encontrado construcciones recientes con grandes patologías, lo que muestra que, a pesar del avance en el campo, no siempre se sigue la práctica correcta a la hora de realizar la obra.

##### *CARACTERÍSTICAS Y DETALLES CONSTRUCTIVOS*

Como se ha comentado anteriormente, los edificios de Oropesa del mar se rigen por unas características que se repiten en muchos de ellos, como consecuencia del uso y entorno en el que se encuentran, es decir, se trata de una localidad que, exceptuando la zona del pueblo, está orientado al periodo vacacional y con ello poder aprovechar al máximo las ventajas que aporta una localidad con playa y mar.

Como consecuencia de lo anterior, la mayor parte de edificios están orientados de forma que tengan la mayor visión del mar posible, es por ello que se ejecutan edificios con terrazas escalonadas, en voladizos y con un porcentaje de huecos muy elevado, principalmente en la fachada orientada al mar.

En el siguiente gráfico, se muestra el porcentaje de edificios que sufre deficiencias en detalles constructivos o bien, tiene una distribución estructural con algún detalle que lo hace más vulnerable frente a los agentes externos.

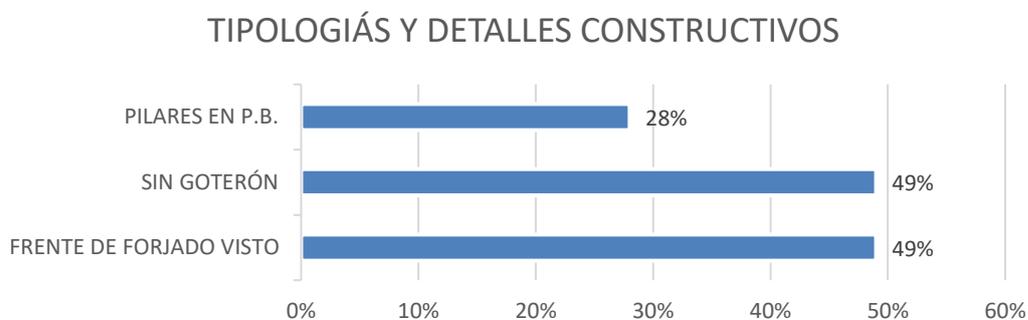


Figura 14. Detalles constructivos en los edificios estudiados. Fuente: Propia, datos obtenidos de las fichas de inspección

- **GOTERÓN**

Una práctica constructiva que se ausentaba en algunos edificios de mayor edad es la existencia del goterón en los huecos. El goterón se define como una ranura en la parte inferior del alféizar de una ventana que impide que el agua de la lluvia resbale por la pared de las fachadas. Eliminar este problema significa conseguir que no aparezcan situaciones indeseables, que en un primer momento se asocian a problemas estéticos, como las manchas de color oscuro, pero que a largo plazo podrían llegar a dar problemas mayores (desprendimiento, degradación de revestimientos o penetraciones de humedad en los interiores).

El goterón produce un desequilibrio entre la tensión superficial de la gota de agua y la gravedad, consiguiendo que esta última elimine la tensión y el agua ceda para no continuar afectando a las fachadas. En la siguiente imagen se muestra un claro ejemplo de cómo afecta la ausencia de goterón en los acabados de los balcones.



Imagen 17. Edificio con patologías en fachada: Fuente: Propia.

En otras ocasiones se ha podido observar que sí que han pensado y colocado el goterón en un punto, pero que deberían haberlo tenido en cuenta en otros puntos además de este, o haber añadido un pequeño prefabricado que eliminara la suciedad que genera el paso del agua. Un ejemplo en concreto sería el representado en las siguientes imágenes.



Imagen 18. Edificios con patologías en fachada. Fuente: Propia

A pesar de la sencillez de ejecución de esta práctica, se han observado un gran número de edificios que no cuentan con él y que como consecuencia han perdido la estética en la fachada a causa de las manchas producidas por el agua. Se ha registrado un total de 49% de edificios que no cuentan con goterón incorporado en los vierte aguas o balcones.

*Ponderación según presencia o no de goterón:*

- Edificios con goterón: 0,0
- Edificios sin goterón: 1

- **FRENTE DE FORJADO VISTO**

Se ha podido comprobar que la existencia de un frente de forjado visto, genera un mayor número de problemas que si está protegido de alguna forma. En los casos de querer crear un espacio de grandes dimensiones para terraza, existe la necesidad de ejecutar un voladizo importante.

En esta población se ha recogido un porcentaje de 49% de edificios con el frente de forjado visto y más expuesto a los agentes meteorológicos.



Imagen 19. Edificio con patologías en frente de forjado. Fuente: Propia

*Ponderación según presencia o no de goterón:*

- *Frente de forjado no visto: 0,0*
- *Frente de forjado visto: 1*

- **PILARES VISTOS (PLANTA BAJA)**

Tal y como se comentó anteriormente, las plantas bajas en zonas residenciales costeras, suelen tener usos de aparcamiento siempre y cuando no existan negocios. Muchos de los casos en los que hay zonas de aparcamiento, no tienen un revestimiento por lo que estos pilares quedan expuestos al ambiente marino.

El 28% de los edificios estudiados, utilizan su planta baja como aparcamiento de vehículos y no tienen un revestimiento que cierre todo este espacio.

*Ponderación según presencia de pilares en planta baja:*

- *Edificios con pilares vistos en planta baja: 1*
- *Edificio sin pilares vistos en planta baja: 0,0*

#### **4.3.14. ESTADO DE CONSERVACIÓN, MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN**

El estado de conservación del edificio se ha considerado como uno de los factores más a tener en cuenta, a la hora de decretar su vulnerabilidad. Todos aquellos en los que no se han encontrado patologías visibles desde el exterior, demuestran que, al menos frente a la afección del ambiente marino cuentan con mayor protección.

Este estado de preservación se debe en la mayoría de casos a su mantenimiento o rehabilitación del edificio. En el caso del mantenimiento, dependerá de en qué fase se encuentre, si por fechas haya recibido una actuación recientemente, o bien la reciba en poco tiempo, lógicamente el estado será distinto; lo cual no quiere decir que la programación del mantenimiento sea incorrecta.

En la siguiente tabla se muestra información obtenida a través del Ayuntamiento de Oropesa, en la que podemos ver la relación entre edificios de nueva planta y edificios que han sufrido algún tipo de rehabilitación. Estos datos obtenidos del portal de información ARGOS ([www.argos.gva.es](http://www.argos.gva.es), 2020) de la Generalitat Valenciana, da a conocer que en la primera década del siglo XX tuvo un fuerte incremento de viviendas nuevas (en 2003 se llegó al máximo con un total de 3.377 viviendas). Esto deja entrever, que se prevé un aumento de rehabilitaciones y mantenimientos en un corto periodo de tiempo.

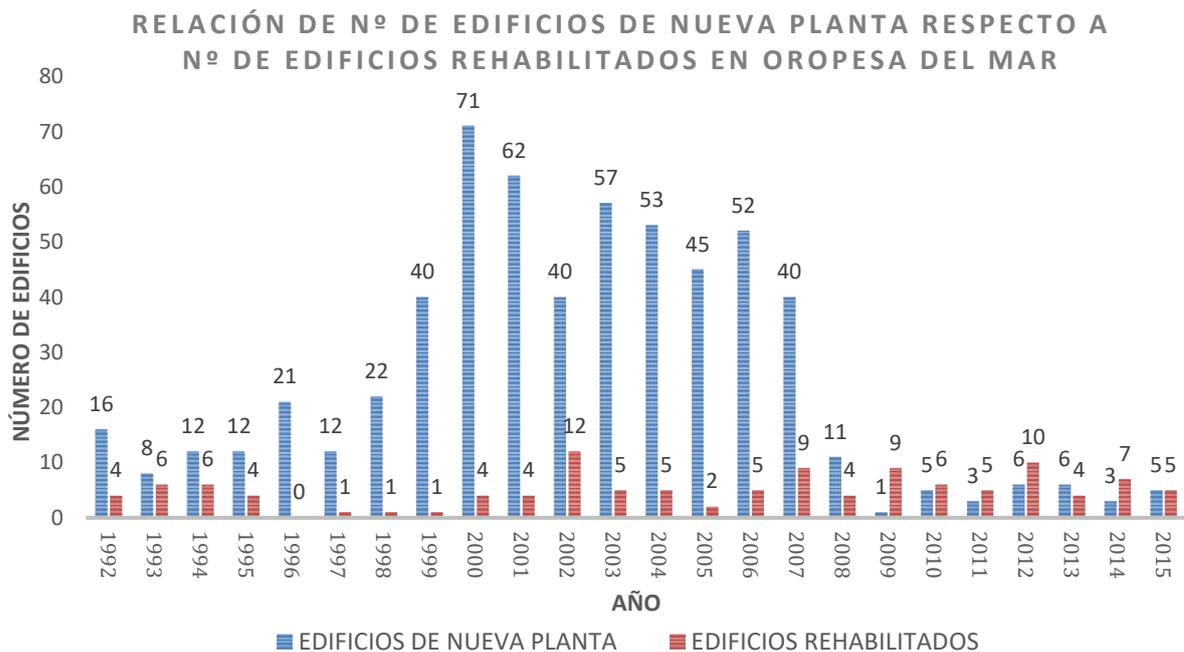


Figura 15. Nº de edificios de nueva planta y rehabilitados a lo largo de los años. Fuente: Ayuntamiento de Oropesa del Mar.

Tras las inspecciones realizadas, se ha podido apreciar qué edificios han recibido algún tipo de intervención recientemente y cuáles no, al menos a simple vista desde el exterior. Más de la mitad se encontraban en buen estado y se podía intuir que habían recibido un mantenimiento, debido a la época de construcción del edificio. Dentro de aquellos que contaban con alguna intervención, se ha podido observar cómo en algunos casos la actuación modificaba físicamente el estado inicial. En más de una ocasión se han visto frentes de forjado reforzados con pilares metálicos, probablemente porque tendrían alguna deficiencia.

Debido a que este trabajo se ha prolongado varios años, se ha podido comprobar como desde el 2017 al 2020 ha habido muchos edificios que han recibido algún tipo de mantenimiento o rehabilitación. Para poder identificarlos, se tuvo en cuenta en primer lugar, aquellos que tenían algún síntoma de mantenimiento durante la ejecución de las fichas de inspección en el 2017. Por otra parte, se ha realizado una última inspección en Junio del año 2020, para poder corroborar si en estos últimos años se ha seguido un mantenimiento o no en todos los edificios.

A continuación, se muestran una serie de imágenes en los que podemos ver las diferentes actuaciones que han sufrido las construcciones en los últimos años:

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

- Edificio nº 22



Imagen 20. Edificio con mantenimiento eliminando la efluencia. Fuente: Propia.

- Edificio nº 32



Imagen 21. Edificio con mantenimiento. Sustitución de embellecedor metálico. Fuente: Propia.

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

- Edificio nº 36



Imagen 22. Edificio con mantenimiento. Pintura y acabados de fachada. Fuente: Propia.

- Edificio nº 37

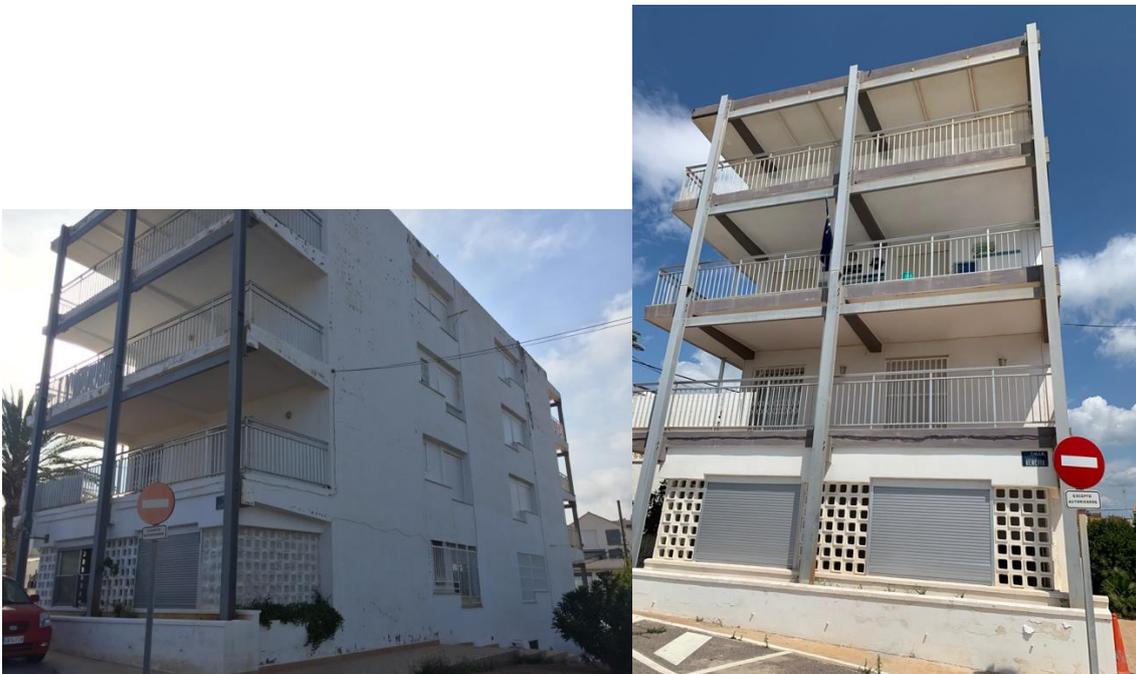


Imagen 23. Edificio con mantenimiento. Imprimación de frentes de forjado. Fuente: Propia.

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

- Edificio nº 54



Imagen 24. Edificio con mantenimiento. Imprimación de frentes de forjado. Fuente: Propia.

- Edificio nº 76



Imagen 25. Edificio con mantenimiento. Instalación de visera metálica y repintado para protección de frentes de forjado. Fuente: Propia.

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

- Edificio nº 69



Imagen 26. Edificio con mantenimiento. Revestimiento metálico en frente de forjado para protegerlo de una mayor corrosión. Fuente: Propia.

- Edificio nº 90



Imagen 27. Edificio con mantenimiento. Revestimiento metálico en fachada para proteger la estructura de la intemperie. Fuente: Propia.

- Edificio nº 105



Imagen 28. Edificio con mantenimiento. Reparación de desconchamientos como consecuencia de la corrosión, imprimación de adherencia, relleno con mortero reparador y posterior pintado. Fuente: Propia.

### CONSERVACIÓN DE EDIFICIOS

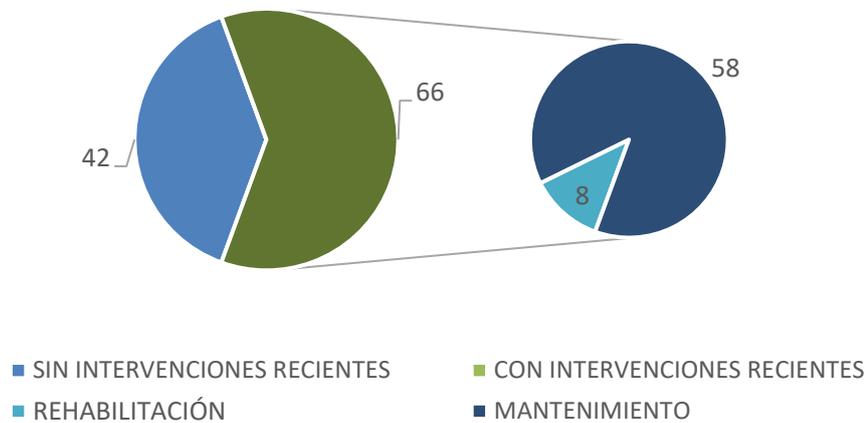


Figura 16. Conservación de edificios. Fuente: Propia, datos obtenidos de las fichas de inspección.

**Ponderación según la conservación de los edificios:**

- Edificios sin intervenciones recientes: 1,8
- Edificios con actuaciones de rehabilitación o mantenimiento: 0
- Edificios con actuaciones de mantenimiento: 0

Por lo general, las construcciones se encuentran en buen estado y a simple vista ninguna presenta riesgo de colapso ni actuación urgente, que pueda generar a la seguridad de los propietarios. Alrededor del 70% de edificaciones no manifiestan patologías que requieran mantenimiento a corto plazo, un 18% deberían empezar a plantear un programa de control de sus patologías para una actuación posterior, antes de que se conviertan en algo más grave.

Por último, alrededor de un 11% de los edificios deberían desempeñar, en un corto espacio de tiempo, una serie de acciones que corrijan los problemas vistos en fachada o estructura.

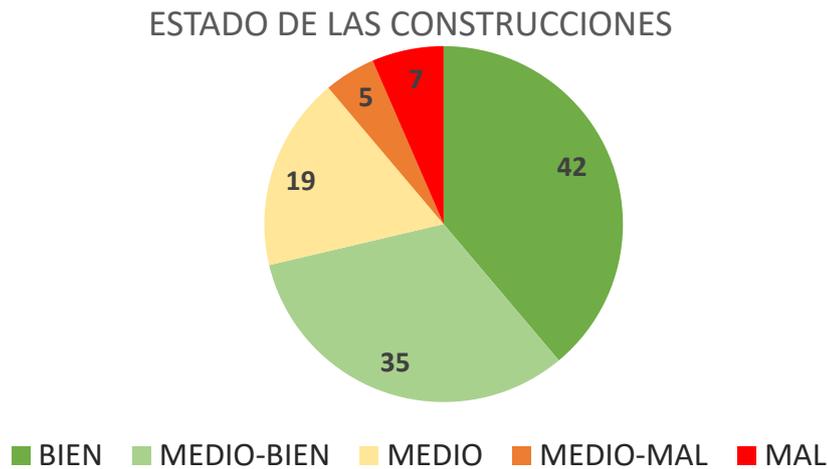


Figura 17. Estado de las construcciones. Fuente: Propia, datos obtenidos de las fichas de inspección.

***Ponderación según el estado de los edificios:***

- *Edificios con un estado bueno: 0*
- *Edificios con un estado medio-bueno: 0,5*
- *Edificios con un estado medio: 2*
- *Edificios con un estado medio-malo: 3*
- *Edificios con un estado malo: 4*

## **5. FICHAS DE INSPECCIÓN**

Para el diseño de la ficha de inspección, se han revisado diferentes fichas de Inspección Técnicas de Edificios (ITE) regulados por el Real Decreto – ley 8/2011, actualmente incluidos en los Informes de Evaluación de Edificios (IEE), regulados por el Real Decreto 233/2013 y la Ley 8/2013. Estos informes se realizan con la finalidad de evaluar el estado de conservación de los edificios, sus condiciones de accesibilidad universal y certificar su eficiencia energética.

Estos controles técnicos se realizan cada cierto tiempo (establecido por la Comunidad Autónoma correspondiente) mediante la inspección visual del inmueble, tras lo cual se cumplimentan las fichas detalladas de los elementos inspeccionados para su evaluación. En la Comunidad Valenciana están regulados por el Decreto 53/2018 para el uso de vivienda denominándose IEEV.CV y deben realizarse siempre que la edad del edificio sea mayor a 50 años y tienen una validez de 10 años.

Con este tipo de fichas se pretende poner de manifiesto las posibles deficiencias que puedan tener los edificios, para una vez estén identificadas poder pasar a su reparación, siempre que sea necesario.

El modelo creado para este trabajo, se centra en todas las características comentadas en el capítulo de parámetros de vulnerabilidad, ya que debe mostrar todas las debilidades posibles en las construcciones.

La ficha está dividida en 5 puntos diferenciados:

a) **Identificación del edificio:**

Cada edificio está referenciado con dos números, uno es la referencia catastral y el otro es el número de identificación que se le ha dado a cada construcción en este trabajo. Este número corresponde al orden en el que se han ido analizando los edificios y aparece en la cara superior derecha de la ficha. También se han dispuesto unos planos de los diferentes sectores de la zona estudiada, con estos números de identificación en cuadros rojos para diferenciarlos.

En este apartado también se marcan los puntos que más importancia tienen respecto a la vulnerabilidad de los edificios, es decir, el año de construcción, la distancia al mar y la línea de costa en la que se encuentra (primera, segunda, tercera línea o mayor).

Por último, también aparece el tipo de orografía en el que se encuentra edificada la construcción (si es planicie o serranía) y también la orientación de Fachada. En el caso de los edificios exentos que tengan 3 o más fachadas sin medianeras, se le ha dado importancia a la fachada con mayor vulnerabilidad, como por ejemplo las fachadas escalonadas que tienen más superficie o aquellas con más huecos, pero en el caso de

tener varias fachadas iguales, se le ha dado la orientación sobre la que más incidencia tiene el viento, en función de la rosa de los vientos comentada anteriormente.

**b) Datos generales:**

Este apartado trata de mostrar características físicas del propio edificio como por ejemplo la tipología en el sentido de la urbanización. Este valor nos definirá cuantas fachadas están expuestas al ambiente, siendo más vulnerable cuanto mayor sea el número de fachadas. En el caso de las edificaciones lineales, siempre habrá una o dos fachadas mínimo que actuarán como medianeras y por ello se han definido como “entre medianeras” o en “esquina”.

La categoría estructural nos da una visión amplia del tipo de parque inmobiliario que existe en esta localidad y la tipología constructiva a la que pertenece. Conociendo el material utilizado, sabremos qué tipo de problemas pueden aparecer en la edificación. La mayoría de edificaciones de más de 2 alturas son de hormigón armado, por el contrario, las de menor altura suelen ejecutarse con bloque prefabricado ya sea de termoarcilla, o de hormigón (sin armado), ya que no necesitan de una estructura formada por pilares, sino que les es suficiente con una fachada auto portante.

El uso de la planta baja se ha querido añadir por tratarse de una localidad costera en la que no abundan los negocios como podría ocurrir en una ciudad. En muchas ocasiones la planta baja es un aparcamiento de vehículos, por lo que el sistema de aislamiento no tiene nada que ver con una vivienda o un comercio.

También es importante recalcar las alturas con las que cuenta el edificio, ya que, a mayor superficie, mayor vulnerabilidad frente agentes externos y mayor posibilidad de fallos en su ejecución.

Por último, cabe resaltar si el edificio muestra un buen mantenimiento, ya sea con tratamientos en el acero, o pinturas que reduzcan las manchas o eflorescencias y proporcionen un mejor aspecto estético, y que a largo plazo mantenga estable las características de los materiales.

**c) Fachada:**

En este punto se trata un gran número de aspectos, visibles desde el exterior del edificio. Se trata de marcar unas variables que pueden afectar a la durabilidad del edificio o a la estética del mismo.

En primer lugar, definir qué tipo de revestimiento tiene la fachada, ya que según sea caravista, monocapa, etc. tendrá más o menos probabilidades de sufrir un tipo de daños u otros. Se diferencia si la fachada principal es vertical o escalonada y si los balcones son retranqueados o expuestos en voladizo.

La existencia o ausencia del goterón resulta muy fácil de identificar en las fachadas, ya que en muchas se observan restos de recorridos de agua por capilaridad, bajo los frentes de forjado. Se considera una de las patologías no estructurales más comunes en este trabajo.

Por último, se debe remarcar si hay elementos estructurales vistos desde el exterior, es decir, que se encuentran fuera del cerramiento que envuelve las viviendas ya que, por este motivo, son elementos más vulnerables a sufrir daños por estar en contacto directo con el agente agresivo. Estos parámetros son los pilares existentes en el balcón, pilares en planta baja (habitualmente con uso de aparcamiento de vehículos) y frentes de forjado vistos, todos aquellos zunchos perimetrales que a veces quedan vistos en balcones o con capas de pintura o ligeros monocapas.

**d) Patologías del edificio:**

Este apartado recoge las deficiencias más comunes encontradas en todas las inspecciones realizadas. Conviene destacar que no se conoce realmente el estado de la estructura del edificio, sino que muestran el estado de las fachadas y en algunos casos puede intuirse la evolución o la problemática que se ha generado o puede sufrir dicha construcción en un futuro, siempre y cuando no se lleve a cabo un mantenimiento o rehabilitación.

También se detalla en que zona del edificio se encuentra el fallo, fachadas, pilares o frentes de forjado (son los puntos críticos donde se han encontrado casi la totalidad de las patologías).

**e) Estado de conservación y descripción de las patologías:**

En el dorso de la ficha de inspección se muestra brevemente el estado en el que se encuentra el edificio, diferenciado en 5 niveles: Bueno, Medio-Bueno, Medio, Medio-Malo y Malo. Estos rangos se definen de forma subjetiva, cuyo criterio se rige por comparación entre unas construcciones y otras; basadas en las diferentes inspecciones realizadas. Asimismo, se describen las patologías encontradas, la ubicación y el posible motivo de su aparición.

Para ayudar a su clasificación y control, se añaden varias imágenes. La primera foto siempre trata de mostrar la totalidad del edificio y en la cara inferior de la ficha se muestran las debilidades encontradas en las construcciones.

A continuación, se muestra el modelo de ficha descrito, ejecutado con una hoja de cálculo, que ha permitido incluir de forma sencilla y ordenada todos los parámetros que se precisaban.

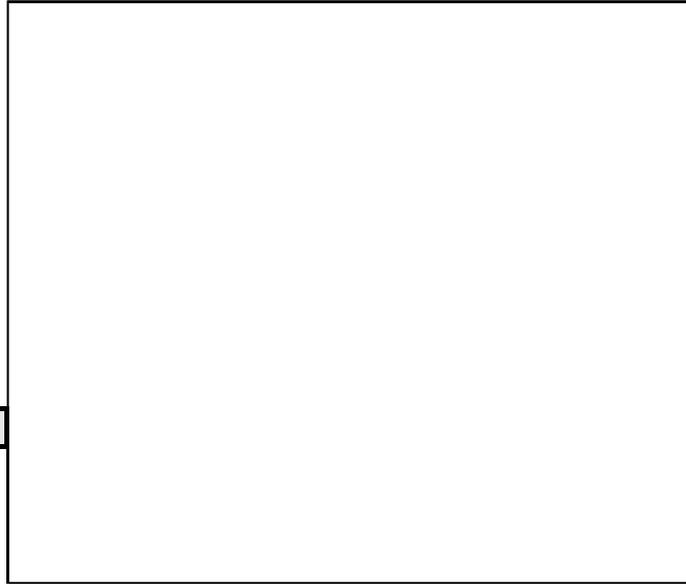
*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en  
Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

En un primer momento se imprimieron las fichas y se rellenaron in situ con lápiz, para posteriormente marcarlas y completarlas a ordenador. En los anexos a esta memoria, se incluyen las fichas de inspección de cada uno de los edificios analizados

 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	FICHA DE INSPECCIÓN	LOCALIDAD	Oropesa del Mar
		FECHA	Id E:
<b>IDENTIFICACIÓN DE EDIFICIO</b>			
Ref. catastral:	Dirección:		
Distancia al mar:	Año de construcción:	<input type="radio"/> Uso residencial	
Orografía: <input type="radio"/> Planicie <input type="radio"/> Serranía	Línea de costa: <input type="radio"/> 1º <input type="radio"/> 2º <input type="radio"/> 3º <input type="radio"/> >3º	Orient. Fachada:	
<b>DATOS GENERALES</b>			
Tipología:	<input type="radio"/> Manzana abierta <input type="radio"/> Lineal <input type="radio"/> Aislado <input type="radio"/> Otro <input type="radio"/> Entre medianera <input type="radio"/> Esquina <input type="radio"/> Unifamiliar		
Categoría estructural:	<input type="radio"/> Hormigón armado <input type="radio"/> Metálica <input type="radio"/> Mampostería <input type="radio"/> Mixta <input type="radio"/> Otro		
Plantas sobre rasante:	_____		
Uso P. Baja:	<input type="radio"/> Parking <input type="radio"/> Oficina <input type="radio"/> Comercio <input type="radio"/> Residencial <input type="radio"/> Otro		
Intervenciones anteriores o en curso:	<input type="radio"/> Rehabilitación <input type="radio"/> Mantenimiento		
<b>FACHADA</b>			
	<b>Fachada:</b>	<b>Estado de Conservación:</b>	
<input type="radio"/> Monocapa	<input type="radio"/> Caravista	<input type="radio"/> Bueno	<input type="radio"/> Medio-Bueno
<input type="radio"/> Mampostería	<input type="radio"/> Otra	<input type="radio"/> Medio	<input type="radio"/> Medio-Malo
		<input type="radio"/> Malo	
Tipo de Fachada:	% de huecos por planta: _____		
<input type="radio"/> Vertical			
<input type="radio"/> Escalonada	<input type="radio"/> Balcones:	<input type="radio"/> Retranqueado <input type="radio"/> Expuesto	<input type="radio"/> Goterón
	<input type="radio"/> Pilares en balcón	<input type="radio"/> Pilares en Pl.Baja	<input type="radio"/> Frente forjado visto
<b>PATOLOGÍAS EDIFICIO</b>			
	<b>Otras causas</b>		
<input type="radio"/> Filtación en carpintería	<input type="radio"/> Desconchamiento		
<input type="radio"/> Filtación en fachada	<input type="radio"/> Envejecimiento, color..		
<input type="radio"/> Fisuración	<input type="radio"/> Suciedad, manchas...		
<input type="radio"/> Corrosión de armadura:	<input type="radio"/> Crecimiento vegetal		
	<input type="radio"/> Otros		
Ubicación de daños:	<input type="radio"/> Fachada <input type="radio"/> Frente forjado <input type="radio"/> Pilar		

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en  
Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

ESTADO DE CONSERVACIÓN:



*IMAGEN GENERAL*

DESCRIPCIÓN DE PATOLOGÍAS Y UBICACIÓN DE DAÑOS:



*IMAGEN DETALLADA*

## **6. RESULTADOS OBTENIDOS**

### **6.1. Índice de vulnerabilidad frente al ambiente marino**

En este apartado se van a tratar los resultados obtenidos como consecuencia del análisis de vulnerabilidad realizado a cada uno de los edificios. Una vez realizada la inspección y rellenadas las fichas técnicas, toda la información contemplada se vuelca sobre el Microsoft Excel para poder incluir cada uno de los parámetros a tener en cuenta.

El procedimiento a seguir para obtener estos valores se basa en dos sistemas utilizados en riesgos sísmicos comentados en el capítulo 3, las propuestas de Benedetti y Petrini por una parte, para dar formato a la ecuación que nos va a mostrar el índice de vulnerabilidad y por otra parte, tomando como referencia también, el proyecto "RISK UE" (Feriche Fernández-Castanys, 2012), que tras sus múltiples actualizaciones, ha servido para aportar particularidades de los edificios o de su entorno, que puedan afectar a la vulnerabilidad de cada uno de ellos y que se adaptan perfectamente a la acción del ambiente marino, pero con un efecto diferente.

En este caso la ecuación cuenta con las variables comentadas en capítulos anteriores, con sus respectivas ponderaciones  $K_i$ . El resultado del índice de vulnerabilidad de la edificación, dependerá además del valor del coeficiente  $W_i$  que corresponde a la importancia que tiene cada parámetro en la vulnerabilidad del ambiente marino.

$$Iv = \sum_{i=1}^{15} K_i * W_i \quad (3)$$

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en  
Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

Tabla 5. Parámetros y pesos de vulnerabilidad.

Parámetros	Clase $K_i$					Peso $W_i$
	0 - 50 M	50-100 M	>100 M			
DISRANCIA AL MAR	6	2	1			1,5
ORIENTACION DE FACHADA	Orientación Norte 2,5	Orientación Sur 3,5	Orientación Este 2,5	Orientación Oeste 1,5		1
LINEA DE COSTA	1ª Línea 8	2ª Línea 4	3ª Línea 2	>3ª Línea 1		1,5
EDAD DE LAS CONSTRUCCIONES	año < 1968 8	1968-1980 4	1980-1988 2	1988-1999 1	1999 - actualidad 0,5	2
TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL	Acero 2	Mixta 1,5	Hormigón Armado 1	Otros 0,5		0,5
DISTRIBUCIÓN EN PLANTA	Vertical 1	Escalonada 1,3				0,5
TIPOLOGÍA DE URBANIZACIÓN	Manzana abierta 2,5	Aislado 2	Unifamiliar 2	Lineal (esquina) 1,5	Lineal (medianera) 1	0,5
INTERVENCIONES ANTERIORES	Sin interv.reciente 1,8	Rehabilitación 0	Mantenimiento 0			2
ESTADO DE CONSERVACIÓN	Malo 4	Medio-Malo 3	Medio 2	Medio-Bueno 0,5	Bueno 0	4
ALTURA DE LOS EDIFICIOS	<3 Alturas 0	3 - 5 Alturas 1	6 - 8 Alturas 2	9 - 11 Alturas 3	>11 Alturas 4	1
HUECOS EN FACHADA	66-99% huecos 2	33-66% huecos 1,5	0-33% huecos 1			0,3
MATERIAL DE FACHADA	Monocapa 2	Monocapa + caravista 1,5	Cara vista 1	Mampostería 1		0,6
GOTERÓN	Sin Goterón 1	Con Goterón 0				0,5
PILARES VISTOS EN P.BAJA	Pilares Vistos en PB 1	Pilares Ocultos en PB 0				0,3
FRENTE DE FORJADO VISTO	Frente Forjado visto 1	Frente forjado oculto 0				0,6
MORFOLOGÍA DEL LITORAL	Litoral en llanura 0,5	Litoral rocoso 0,5				0,2

Fuente: Propia.

Los pesos  $W_i$  se han asignado teniendo en cuenta también los valores de  $K_i$  ya que el rango de magnitudes es distinto para cada uno de los parámetros. Con esta asignación de pesos se pretende que el producto de ambos valores representara de la mejor forma posible la vulnerabilidad y que los valores de  $K_i$  entre sí, fueran coherentes con las diferencias entre sí, de cada parámetro. Poniendo un ejemplo, los valores de distancia al mar reflejan que los edificios que se encuentran a menos de 50 m del mar son mucho más vulnerables que los que están a 100 m, según el gráfico que aparece en la ilustración 7 (apartado 3.1 de este trabajo) que indica la cuantía de cloruros en el ambiente en función de la distancia (Andrade, C. et al., 2003). Se han puesto esos valores de  $W_i$  y  $K_i$ , pero perfectamente se podrían haber reducido a la mitad y duplicar el otro, lo importante es la diferencia entre los que están a una distancia o a otra.

Los valores del índice de vulnerabilidad ( $I_v$ ) calculados se encuentran entre los valores 12,6 (edificio menos vulnerable) y 51,85 (edificio más vulnerable), por lo que hay una diferencia considerable entre extremos.

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en  
Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

Tabla 6. Índices de vulnerabilidad de los edificios.

Edificio	Índice Vulnerab.								
1	29,7	23	33,7	45	26,45	67	30,25	90	35,7
2	42,05	24	31,7	46	26,15	68	19	91	19,3
3	29,65	25	37,45	47	26,05	69	45,1	92	16,6
4	33,35	26	33,45	48	19,05	70	28,5	93	24,7
5	32,6	27	44,7	49	20,4	71	22,65	94	14,4
6	36,65	28	48,85	50	14,5	72	13,8	95	23,55
7	31,35	29	51,15	51	16,8	73	29,3	96	19,55
8	39,15	30	38,45	52	46,6	74	21,3	97	29,15
9	36,75	31	33,35	53	20,85	76	29,35	98	19,65
10	25,05	32	40,75	54	33,6	77	26,85	99	16,25
11	20,55	33	44,05	55	24,65	78	15,95	100	30,4
12	22	34	44,4	56	18	79	12,6	101	19,25
13	48,05	35	40,65	57	24,05	80	28,65	102	15,8
14	30,5	36	51,5	58	17,05	81	35,3	103	18,8
15	40,05	37	38,6	59	18,65	82	21,35	104	17,9
16	38,65	38	51,85	60	44,25	83	14,85	104	19,75
17	30,8	39	25,75	61	26,2	84	18,35	105	28,35
18	35,85	40	25,75	62	26,8	85	29,1	106	19,25
19	32,65	41	49,65	63	22,5	86	23,5	107	24,7
20	35,4	42	37,6	64	27,2	87	25,75		
21	27,45	43	27,55	65	39,7	88	33,3		
22	43,4	44	29,55	66	29,9	89	29,35		

Fuente: Propia.

La Tabla 6 muestra los resultados del índice de vulnerabilidad de cada edificio. Las tonalidades utilizadas en la tabla, desde verde hasta rojo identifican visualmente la menos o mayor vulnerabilidad de las edificaciones.

Los números de identificación de los edificios han sido asignados de forma correlativa según su situación geográfica; es decir, el edificio identificado con el número 98 se encuentra ubicado entre el edificio 97 y el 99. Por tanto, se puede apreciar que existen zonas más vulnerables que otras en el área estudiada

Los edificios con número de identificación mayores tienen un índice de vulnerabilidad menor, esto se debe a varios factores que reducen este valor, como por ejemplo que su línea respecto a la línea de costa sea la 3ª o mayor y su distancia a la orilla también sea superior a 200 m;

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

generalmente son edificios construidos más recientemente y cuentan con un mejor estado de conservación.

Por el contrario, conviene destacar el índice de vulnerabilidad obtenido por los edificios identificados con los números entre el nº 13 y el nº 38. Todos ellos se encuentran en 1ª línea de costa, pero, además están a menos de 50 m de distancia la gran mayoría debido a que están situados en una zona rocosa, sin existencia de arena y playa. A esto se le añade la antigüedad de las construcciones, que la mayoría de parcelas de primera línea se ocuparon en los primeros años en los que apareció el turismo de costa.



Imagen 30 a). Índices de vulnerabilidad en cada edificio. Fuente: ArcGis.



Imagen 29 b). Índices de vulnerabilidad en cada edificio. Fuente: ArcGis.

## 6.2. Principales patologías encontradas en las inspecciones

### 6.2.1. ANÁLISIS GENERAL DE EDIFICIOS DAÑADOS

El estudio del parque inmobiliario de este trabajo, refleja que el 61% de los edificios cuentan con algún tipo de patología en su fachada o estructura, tanto las que no tienen gran importancia como las que sí la tienen.

Tabla 7. Índices de vulnerabilidad de los edificios

Estado	Total edificios	Edificios dañados
BIEN	42	
MEDIOBIEN	35	35
MEDIO	19	19
MEDIOMAL	5	5
MAL	7	7
	108	66
<b>TOTAL EDIFICIOS CON DAÑOS</b>		<b>61%</b>

Fuente: Propia.

En el análisis de los edificios dañados, se han diferenciado cuatro categorías de daño, dependiendo de su gravedad y como consecuencia, de la importancia de su reparación. Más de la mitad de edificaciones con daños, sufren patologías de grado 1, las cuales corresponden a las de menor importancia. Sin embargo, un 19% de los edificios dañados cuentan con patologías de grado 3 o 4, por lo que 1 de cada 5 edificios sufre un problema que debería tenerse en consideración para ser reparado o dedicarle un mantenimiento a corto plazo, antes de que la situación pueda verse empeorada. Esto supone un valor bastante alto para el número de edificios analizados.

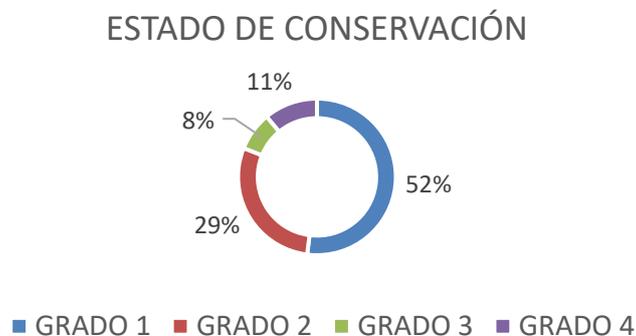


Figura 18. Estado conservación. Fuente Propia

En el trascurso de las inspecciones se ha observado deficiencias de diferentes magnitudes y tipologías. En este apartado se van a analizar aquellas que más han aparecido, tratando de explicar el proceso que lleva a cabo cada problema y su posible procedimiento para eliminar estas patologías, con el objetivo de que no vuelvan a aparecer en un largo periodo de tiempo.

## 6.2.2. ANÁLISIS DE PATOLOGÍAS

- I. Se aprecian grietas longitudinales y desconchados en el hormigón que hacen visibles los estribos y armaduras longitudinales en algunos casos.

Estas lesiones en el hormigón son causa de los procesos de corrosión de las armaduras, que en presencia de humedad y oxígeno comienzan a oxidarse, generando un aumento de volumen del acero en forma de escamas, que ejercen una presión superior a la admisible por el hormigón, agrietándolo, e incluso, llegando a fracturarlo, lo que produce desconchados y desprendimientos.

El ambiente marino, y por tanto, el exceso de humedad ambiental, favorece que todos los elementos constructivos de la localidad estén expuestos a una humedad superficial continua. El hormigón, dado el ataque continuo de cloruros procedentes del entorno costero, reduce sus niveles de alcalinidad, tras iniciarse los procesos de carbonatación del mismo. Esta reducción de la alcalinidad, transforma el hormigón en un medio agresivo de paso, de la humedad hacia el interior, favoreciendo la corrosión del acero.

También se le suma el poco recubrimiento que tienen algunas armaduras, esto facilita que la humedad acceda a las barras, provocando la corrosión de en toda su longitud, aumentando su volumen y sometiendo al hormigón a fuerzas que provocan su rotura en las zonas donde se encuentran las barras.



Imagen 30. Patologías en elemento estructural, Pérdida de recubrimiento de armadura. Fuente: Propia

Para realizar una intervención de rehabilitación y subsanar estas patologías, hay que determinar en primer lugar el alcance de la pérdida de sección del acero. Una solución podría ser la de programar refuerzos con elementos metálicos y recuperar la sección útil a compresión del hormigón en el caso de los pilares mediante morteros de alta resistencia. No hay que olvidar, que se debe evitar en todo momento la penetración de la humedad en la estructura de hormigón armado, causa originaria de las lesiones.

Este sería el procedimiento a seguir a la hora de realizar su intervención:

- 1º Picado del hormigón deteriorado hasta descubrir la armadura en todo su perímetro.
- 2º Limpieza del óxido de las armaduras, por medio de una amoladora de púas, por ejemplo.
- 3º Aplicación de pasivante a las armaduras y puente de unión entre el hormigón antiguo y el nuevo mortero de reparación.
- 4º Suplemento de armaduras en el caso de ser necesario, si la actuación fuera mayor, se podría dar el caso de sustituir la armadura por otra galvanizada.
- 5º Recomposición de la forma con mortero estructural.
- 6º Pintura en el caso de necesitarla para homogeneizar con el entorno.

## II. La humedad por capilaridad.

Aparece como consecuencia de la ascensión del agua a través de los cerramientos debido a su estructura porosa. Para que aparezca este tipo de patología se necesita un contacto directo con el agua, material poroso y falta de impermeabilización. El daño suele estar presente en los arranques de muros desde terreno o en pavimentos de plantas bajas y sótanos, es por ello que la presencia de agua será mayor cuanto más cerca se encuentre del terreno (fuente de humedad) y, por lo tanto, las manchas se irán reduciendo con la altura, puesto que el peso del agua y la evaporación van equilibrando la fuerza de succión hasta detenerse.



Imagen 31. Patología en fachada, Humedad absorbida del terreno en revestimiento. Fuente: Propia.

Debido a la cercanía del mar en estas construcciones el nivel freático de la zona es muy elevado y las humedades por capilaridad están presentes en varios edificios, probablemente como consecuencia de la rotura de la impermeabilización o directamente la no existencia de esta.

Este podría ser un procedimiento a seguir a la hora de reparar los daños:

1º Instalar electroósmosis perforando la pared y la solera tratando de invertir la polaridad del terreno consiguiendo el descenso del agua hasta el subsuelo que había ascendido por los poros del muro. En primer lugar, se realizan las perforaciones en muro y suelo para introducir las resistencias.

2º Introducir el cableado y conexión entre cables a la red para que puedan funcionar y cambiar la polaridad.

3º Cerrar las perforaciones con mortero.

4º Acabado de pintura con un alto grado de porosidad.

Otras opciones podrían ser la colocación de tubos de drenaje para quitar el agua existente en el terreno o colocar aberturas en la parte baja y alta del muro creando una cámara de ventilación y de esta manera reducir la humedad.

III. Aparición de fisuras en revestimiento caravista como consecuencia de algún desplazamiento.

Las fisuras se concentran en una misma zona y con las mismas orientaciones, probablemente por existencia de tracciones. Puede haberse producido por un asentamiento del terreno o bien, por un fuerte golpe de un vehículo.



Imagen 32. Patología en revestimiento de fachada, Fisuración de ladrillo en revestimiento. Fuente: Propia.

Una forma de sanear este problema sería sustituir los ladrillos por tramos, de forma que sigan teniendo la traba y no estando independizados. En el caso de que hayan afectado también al trasdosado, debería sustituirse y volverse a ejecutar de nuevo, aportando sistemas provisionales de apoyo siempre que fuese necesario.

#### IV. Manchas y suciedades en fachada

Se han apreciado múltiples manchas en los edificios, principalmente con un tono gris oscuro, que estará causado por presencia de humedades y posiblemente por la orientación de la vivienda, que no recibe luz solar directa para que se pueda secar. Estas manchas aparecen en mayor medida en las fachadas revestidas con monocapa, ya que tienen una mayor porosidad y absorben dicha humedad, bien por el ambiente o porque el sistema de recogida de pluviales (canalones, vierteaguas mal instalados o ausencia de goterón) no está bien dimensionado y vierte el agua directamente sobre la fachada.

En algunos casos de plantas bajas, se ha visto proliferación de moho (imagen 34), cambiando la tonalidad de las pinturas.



Imagen 33. Patología en fachada. Aparición de manchas en toda la fachada de la vivienda. Fuente: Propia.

Las intervenciones que se pueden llevar a cabo para solventar estos problemas, dependerán de la dimensión de superficie que esté afectada y con ello de los medios económicos. Para hacerlo correctamente, debería realizarse una limpieza general mediante cepillado o eliminando la capa más superficial y posteriormente tratarlo con una imprimación que selle los poros al máximo, para después aplicarle las manos de pintura si lo requieren. En el caso de presentar mohos, se deberá aplicar un fungicida antes de la imprimación.

Si el revestimiento se encontrara en muy mal estado, habría que sustituirlo en su totalidad ya que retirar y sustituirlo a parches dejaría tonalidades muy distintas y no quedaría bien, además podrían producirse desprendimientos del mismo.

En la Figura 19, se resume el número de edificios que cuenta con cada una de las patologías, dejando ver la fisuración y las manchas, principalmente como consecuencia de presencia habitual de agua, son los problemas más habituales encontrados en las construcciones estudiadas.

Estas patologías hacen referencia a todas aquellas que se ven desde el exterior de los edificios y en planta baja. Es probable que edificios con falta de mantenimiento y más expuestos a las acciones que incrementan la vulnerabilidad del ambiente marino, sufran más problemas en su interior o exterior, pero dadas las limitaciones no se han podido recoger estos datos.

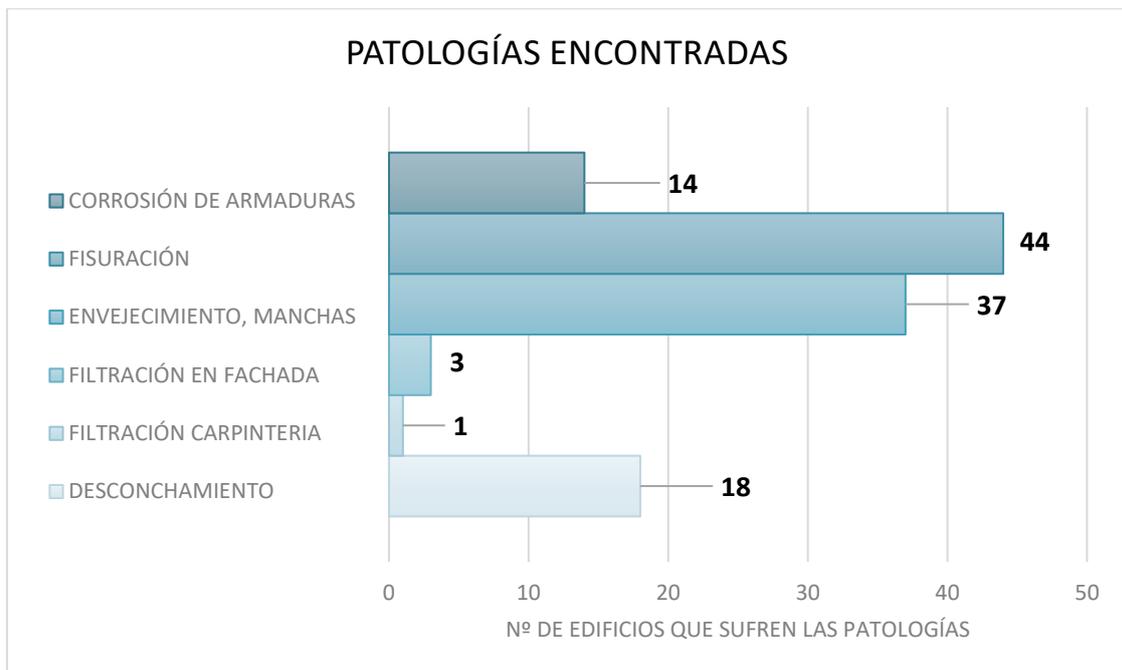


Figura 19. Patologías encontradas en los edificios. Fuente: Propia, datos obtenidos de las fichas de inspección

## **7. CONCLUSIONES**

- **Conclusiones relativas a la estructura:**

Tras analizar las patologías encontradas en los elementos estructurales, donde se han visto muchos desconchados del hormigón; se propone incrementar el recubrimiento de las armaduras, principalmente en aquellas que vayan a encontrarse en el perímetro del edificio ya que son las que van a estar más expuestas. Para este estudio en concreto en el que se analiza el ambiente IIIa según EHE, probablemente para resistencias inferiores a 40 MPa y ejecutados in situ, la diferencia con un ambiente IIa es solo de 10 mm. Pueden haber varios factores que fácilmente puedan fallar y se reduzca de 35 a 25 mm de recubrimiento, como la fabricación del hierro (que no es perfecta), el montaje en obra del hierro o el replanteo de los encofradores, ya que únicamente la marca del azulete, al colocar el tiralíneas para marcar el arranque del encofrado, tiene 3-4 mm de espesor.

Una opción para solucionar esto sería el cambio de la normativa; y que las limitaciones en función de la distancia a la costa, sean más concretas (como ocurre en Japón, por ejemplo). Proponiendo mayores recubrimientos, conforme la estructura esté más cerca del mar ya que como se ha visto en la gráfica de concentración de cloruros, no tiene nada que ver dicho valor a 50 m del mar que a 5 km.

La EHE dicta la impermeabilidad máxima del hormigón. Si la permeabilidad del hormigón es inferior a 50 mm, cumple en este aspecto; sin embargo, el acero se encuentra a 35 mm del exterior (teóricamente), por lo que se supone que el agua puede alcanzar las barras.

También existe la posibilidad de reducir la relación agua/cemento, que para ambiente IIIa en hormigón armado está en 0,5. Cabría la posibilidad de aumentarse la cantidad mínima de cemento para reducir el número de poros.

- **Conclusiones relativas a los revestimientos:**

En muchas ocasiones, son las propias fachadas las que nos dan a conocer que algo no funciona como debería. La existencia de manchas, por el motivo que sea, suele avisarnos que existe presencia de humedad en ella y puede dar lugar a problemas más graves en un futuro, principalmente de impermeabilización o desprendimientos.

La gran mayoría de revestimientos de fachada están ejecutados con enfoscados y monocapa en casos más recientes. Esta es la solución de ejecución más económica, por material y principalmente por tiempo y poca necesidad de mano de obra. Este material resulta más poroso que el ladrillo caravista, por lo que absorbe mucha más humedad, lo que genera que se deteriore y se visualicen más los fallos, estéticamente hablando.

El ladrillo caravista es un material que protege mejor los trasdosados y elementos estructurales, principalmente porque tiene un mayor espesor y porque tiene menor porosidad (absorbe menos humedad). Además, como revestimiento de elementos estructurales, no se ha apreciado

ningún problema de corrosión o fisuración en frentes de forjado, pilares o dinteles de huecos que contaban con ladrillo caravista. Sin embargo, económicamente es un recurso mucho más costoso y resulta complicado que se adopte esta técnica de forma habitual, para dar solución a los acabados de fachada.

- **Conclusiones relativas a los detalles constructivos**

El elemento constructivo que se ha visto más vulnerable es el frente de forjado en los voladizos. Se han encontrado múltiples daños en este elemento, como corrosión de armaduras que arrastran el tono rojizo hasta la cara exterior o desconchados de hormigón como consecuencia del aumento de sección de la armadura. Esta solución estructural no es adecuada en ambiente marino, porque el elemento queda demasiado expuesto a la niebla salina y sin apenas protección. Sin embargo, los voladizos para balcones tienen un efecto muy positivo por el atractivo turístico que aporta al propietario, ya que en épocas estivales en las que la temperatura aumenta, son funcionalmente adecuados para las viviendas. Dado que la ejecución de balcones retranqueados respecto a la fachada resulta menos atractiva para el usuario de la vivienda, es conveniente estudiar nuevas soluciones que disminuyan la vulnerabilidad de este elemento estructural.

- **Conclusiones relativas a los parámetros de vulnerabilidad**

Una vez se ha investigado sobre cada uno de los parámetros y recogidos los resultados de las fichas de inspección, se puede llegar a un consenso sobre la importancia de cada una de las medidas, que dan forma a la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino.

En el capítulo de resultados, se plasman los coeficientes asignados según la importancia de cada parámetro y por lo tanto, se le dan valores mayores a aquellas afecciones que generan un problema con mayor frecuencia o con más rapidez y valores menores a los que no producen problemas de grandes dimensiones.

Se han detectado tres aspectos clave que incrementan la vulnerabilidad de los edificios: La línea de costa (relacionada generalmente con la distancia al mar), la edad de las construcciones (tanto por el desconocimiento y control de la construcción en el pasado respecto a la actualidad) y, por último y más importante, el estado en el que se encuentran las construcciones. Todos aquellos edificios que presentan corrosión en la armadura o simplemente fisuras en elementos estructurales, ya se encuentran mucho más expuestos a la afección de cloruros, por ejemplo. También con las humedades de fachadas, pueden dar lugar a infiltraciones en el interior de la vivienda. En general, todo aquel edificio que sufra problemas ya está en un proceso de deterioro más rápido que los que no presentan daños significativos.

## **PROPUESTA DE FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y NUEVAS ÁREAS DE TRABAJO**

Las edificaciones de segunda residencia en zonas costeras se multiplicaron en la segunda mitad del siglo XX, por lo que son áreas que se desconoce el comportamiento exacto de los edificios, a medio largo plazo frente a los nuevos materiales y un incremento de investigación podría ayudar a reducir algunas de las patologías encontradas.

El análisis exhaustivo de varios edificios en primera línea de playa podría reflejar resultados más concretos respecto a la afección del ambiente marino. Estudiando las deficiencias de las construcciones, ya sean estructurales o no, con un enfoque mucho más preciso, daría resultados más exactos de los índices de vulnerabilidad. Una variable importante en el estudio es conocer la existencia de reparaciones o modificaciones en el edificio. Para ello, se debería tener un contacto directo con los Ayuntamientos y que proporcionasen las licencias de obra emitidas para cada uno de los edificios que hayan sufrido alguna actuación.

En el probable caso de que en la mayoría de localidades costeras, los edificios sufran las mismas patologías, se podría encauzar una línea de investigación para eliminar los problemas más graves; estudiando una opción constructiva y económicamente viable. Es conveniente trabajar conjuntamente y compartir conocimientos de los fabricantes de los productos y las casas comerciales, con las empresas constructoras y los profesionales del sector y con los centros de investigación y universidades para hacer frente a este problema.

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

**ANEXOS:**

EDIFICIO	REFERENCIA CATASTRAL	LOCALIZACIÓN	AÑO CONSTRUCCIÓN
1	5909104BE5450N	PS MTMO CONCHA 53	1985
2	5909103BE5450N	PS MTMO CONCHA 52	1965
3	5909102BE5450N	PS MTMO CONCHA 51	1981
4	5909101BE5450N	PS MTMO CONCHA 50	1999
5	6011803BE5461S	PS MTMO CONCHA 48	1988
6	6011802BE5461S	PS MTMO CONCHA 47	2008
7	6011801BE5461S	PS MTMO CONCHA 45	1997
8	6212307BE5461S	PS MTMO CONCHA 44	1991
9	6212306BE5461S	PS MTMO CONCHA 42	1988
10	6212306BE5461S	PS MTMO CONCHA 42	1988
11	6212306BE5461S	PS MTMO CONCHA 42	1997
12	6212305BE5461S	PS MTMO CONCHA 40	1979
13	6212303BE5461S	AV COLUMBRETES 18	1979
14	6212304BE5461S	PS MTMO CONCHA 36	1987
15	6212303BE5461S	AV COLUMBRETES 18	1979



*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en  
Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

<b>EDIFICIO</b>	<b>REFERENCIA CATASTRAL</b>	<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>AÑO CONSTRUCCIÓN</b>
16	6412506BE5461S	CL DR BELLIDO 7	1967
17	6412505BE5461S	CL DR BELLIDO 15	1972
18	6412504BE5461S	CL DR BELLIDO 17	1972
19	6611536BE5461S	CL DR BELLIDO (19-33)	1981
20	6611535BE5461S	PS MTMO CONCHA 34	1970
21	6611534BE5461S	PS MTMO CONCHA 31	1984
22	6611533BE5461S	PS MTMO CONCHA (26-29)	1972
23	6611531BE5461S	PS MTMO CONCHA (16-23)	1981
24	6610901BE5461S	PS MTMO CONCHA 14	2003
25	6610911BE5461S	PS MTMO CONCHA 13-12	1972
26	6610914BE5461S	PS MTMO CONCHA 9	2006
27	6610907BE5461S	PS MTMO CONCHA 8	1960
28	6610906BE5461S	PS MTMO CONCHA 7	1966
29	6610906BE5461S	PS MTMO CONCHA 6	1966
30	6610905BE5461S	PS MTMO TORRE REY 5	1988
31	6610902BE5461S	CL ALMERIA 11	2002
32	6610904BE5461S	PS MTMO TORRE REY 3	1991
33	6610401BE5461S	CL ALMERIA 5	1988
34	6610403BE5461S	CL ALMERIA 3	1955
35	6610404BE5461S	CL ALMERIA 1	1880
36	6811501BE5461S	AV FARO DEL 125	1965
37	6611521BE5461S	CL ALMERIA 6	1969
38	6611525BE5461S	CL ALMERIA 8	1962
39	6611526BE5461S	CL ALMERIA 10	1980
40	6611527BE5461S	CL ALMERIA 12	1985
41	6611530BE5461S	CL ALMERIA 22	1964
42	6611519BE5461S	CL ANTONIO BOSQUE 32-34	1986
43	6611518BE5461S	CL ANTONIO BOSQUE 37	1999
44	6611518BE5461S	CL ANTONIO BOSQUE 39	1999
45	6611516BE5461S	AV FARO DEL 98	1975
46	6611538BE5461S	CL ANTONIO BOSQUE 31	2001
47	6611510BE5461S	CL ANTONIO BOSQUE 23	2002
48	6611511BE5461S	CL ANTONIO BOSQUE 19	1999
49	6611512BE5461S	CL ANTONIO BOSQUE 14	1998
50	6611524BE5461S	CL ALMERIA 12	1986
51	6611523BE5461S	CL ALMERIA 10	1987
52	6611522BE5461S	CL ALMERIA 6	1962
53	6611517BE5461S	AV FARO DEL 100	1980

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en  
Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

<b>EDIFICIO</b>	<b>REFERENCIA CATASTRAL</b>	<b>LOCALIZACIÓN</b>	<b>AÑO CONSTRUCCIÓN</b>
54	6611515BE5461S	AV FARO DEL 98	1970
55	6611514BE5461S	AV FARO DEL 94	2002
56	6611507BE5461S	AV FARO DEL 92	2003
57	6611506BE5461S	AV FARO DEL 88	1990
58	6611504BE5461S	AV FARO DEL 86	1988
59	6611503BE5461S	AV FARO DEL 84	1980
60	6611536BE5461S	AV FARO DEL 72	1968
61	6611536BE5461S	AV FARO DEL 70	1971
62	6412503BE5461S	AV FARO DEL 66	1980
63	6412502BE5461S	AV FARO DEL 62	1973

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*



EDIFICIO	REFERENCIA CATASTRAL	LOCALIZACIÓN	AÑO CONSTRUCCIÓN
64	6513634BE5461S	AV FARO DEL 55	1968
65	6513633BE5461S	AV FARO DEL 59	1958
66	6513632BE5461S	AV FARO DEL 63	1991
67	6513631BE5461S	AV FARO DEL 65	1945
68	6513630BE5461S	AV FARO DEL 67 - 75	1981
69	6513629BE5461S	AV FARO DEL 77	1950
70	6513628BE5461S	AV FARO DEL 79	1950
71	6513622BE5461S	AV FARO DEL 85	1978
72	6513621BE5461S	AV FARO DEL 87	1989

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

73	6513620BE5461S	AV FARO DEL 91	1965
74	6513619BE5461S	AV FARO DEL 95	1975
76	6513640BE5461S	AV FARO DEL 99	2008
77	6513618BE5461S	AV FARO DEL 101	1960
78	6513637BE5461S	AV FARO DEL 105	1989
79	6513638BE5461S	CL MONCAYO 3	2001
80	6513616BE5461S	AV FARO DEL 113	1967
81	6513616BE5461S	AV FARO DEL 111	1967
82	6813213BE5461S	AV FARO DEL 113	2002
83	6813213BE5461S	AV FARO DEL 115	2002
84	6813213BE5461S	AV FARO DEL 117	2002
85	6813212BE5461S	AV FARO DEL 119	1984
86	6813211BE5461S	TR MONT S JOSE B 42	1988



EDIFICIO	REFERENCIA CATASTRAL	LOCALIZACIÓN	AÑO CONSTRUCCIÓN
87	6313701BE5461S	PS MTMO CONCHA 35	2006
88	6413801BE5461S	CL DR BELLIDO 2	1989
89	6313706BE5461S	CL DUNKERQUE 5	1985
90	6313705BE5461S	AV FARO DEL 54	1964
91	6313406BE5461S	CL DUNKERQUE 18	1967
92	6313405BE5461S	CL DUNKERQUE 14	1989

*Análisis de la vulnerabilidad de los edificios frente al ambiente marino en Oropesa del Mar (Castellón de la Plana)*

93	6313401BE5461S	AV COLUMBRETES 23	1988
94	6313403BE5461S	CL LOS NARANJOS 20	2002
95	6216811BE5461S	AV COLUMBRETES 19	1990
96	6212302BE5461N	AV COLUMBRETES 10	2004
97	6212311BE5461N	CL TORRE PAQUITA 2	2005
98	6212301BE5461N	AV COLUMBRETES 2	1920
99	6212302BE5461N	AV COLUMBRETES 8	2005
100	6216813BE5461S	AV COLUMBRETES 7	1991
101	6216801BE5461N	AV COLUMBRETES 1	1966
102	6216809BE5461N	AV FARO DEL 42	1969
103	6216808BE5461N	AV FARO DEL 40	1990
104	6216805BE5461N	AV FARO DEL 18	1991
105	6415206BE5461N	AV MADRID 18	2001
106	6415206BE5461N	AV FARO DEL 25	2005
107	6415208BE5461N	AV FARO DEL 43	2005
108	6415203BE5461N	AV FARO DEL 49	1976



## **8. BIBLIOGRAFÍA**

- Adam, J. M., Moreno, J. D., Bonilla, M., & Pellicer, T. M. (2016). Classification of damage to the structures of buildings in towns in coastal areas. *Engineering Failure Analysis*, 70, 212–221.
- 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, 13.
- Benedetti, D., & Petrini, V. (1984). Sulla Vulnerabilità di edifici in muratura: Proposta di un metodo di valutazione. *L'industria Delle Costruzioni*, 149, 66–74.
- Bonachea Pico, J. (2006). Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos [Universidad de Cantabria]. In *Tesis Doctoral*.
- Caballero Guerrero, A. (2007). Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método del índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el centro histórico de la ciudad de Sincelejo, utilizando la tecnología del sistema de información geográfica. Universidad del Norte.
- Conde, J., Ramírez, A., Alonso, J., Esteve, R., Lucas, R., Quintanar, F., & Sánchez, Ó. (2010). Manual general para el uso, mantenimiento y conservación de edificios destinados a viviendas. *Junta de Andalucía. Consejería de Vivienda y Ordenación de Territorio*, 274.
- D'Ayala, D., & Speranza, E. (2002). An integrated procedure for the assessment of seismic vulnerability of historic buildings. *12th European Conference on Earthquake Engineering*, 1–10.
- Feriche Fernández-Castanys, M. (2012). Elaboración de escenarios de daños sísmicos en la ciudad de Granada. Editorial de la Universidad de Granada.
- Feriche, M., Vidal, F., Alguacil, G., Navarro, M., & Aranda, C. (2012). Vulnerabilidad y daño en el terremoto de lorca de 2011. 8.
- Fernández García, S., En, A., & Marino Aéreo, A. (2016). Corrosión de armaduras en el hormigón armado en ambiente marino aéreo. Universidad Politécnica de Madrid.
- Guardiola, A., & Basset, L. (2011). Analisis de la vulnerabilidad del grupo de viviendas virgen de la fuensanta en valencia. *CNIS*, 1–8.
- Herrera, G. R., Vielma, J. C., Barbat, A. H., & Pujades, L. (2013). Estado del conocimiento sobre metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificios. *Ingeniería y Sociedad*, 8, 7–22.
- Irizarry, J., Susagna, T., Figueras, S., Goded, T., & Clavero, D. (2007). Escenarios de riesgo sísmico para la ciudad de Málaga. *3er Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, 1, 8–11.
- Lopez Rodriguez, F. (2004). Detección y diagnóstico de las lesiones más frecuentes en las estructuras de madera de los edificios. In *Manual de patología de la edificación: Hormigón y Madera* (Vol. 2).
- Lopez Rodríguez, F., Rodríguez, Rodríguez, V., Santa Cruz Astorgui, J., Torreño Gómez, I., & Ubeda de Mingo, P. (2004). Manual de patología de la edificación tomo 3 lesiones debidas a las humedades. patología de cubiertas y fachadas.
- Marquez Rosales, H. (1999). Métodos matemáticos de evaluación de factores de riesgo

- para el patrimonio arqueológico: una aplicación gis del método de jerarquías analíticas de t.I. SAATY. *Intellectual Property*, 8(12), 22–35.
- Martínez, S. (2014). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana basada en tipologías constructivas y disposición urbana de la edificación. Aplicación en la ciudad de Lorca, Región Murica [Universidad Politécnica de Madrid]. In *British Journal of Psychiatry* (Vol. 205, Issue 01).
- Meira, G. R., Padaratz, I. J., Alonso, C., & Andrade, C. (2003). Efecto de la distancia al mar en la agresividad por cloruros en estructuras de hormigón en la costa brasileña. *Mater Construcc*, 53, 179–188.
- Monjo Carrio, J., & Maldonado Ramos, L. (2001). *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*.
- Moreno Romero, J. D., Adam Martínez, J. M., Bonilla Salvador, M., & Romero, J. D. M. (2016). Efecto del ambiente marino en edificios de segunda residencia en la costa valenciana. influencia del crecimiento urbanístico y sistemas constructivos.
- Mouroux, P., & Le Brun, B. (2006). Presentation of RISK-UE project. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 4(4), 323–339.
- Obiol Menera, E. M., & Garrido, M. D. P. (2011). El litoral turístico valenciano. intereses y controversias en un territorio tensionado por el residencialismo. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*.
- Perepérez Ventura, B., Barbera Ortega, E., & Andrade, C. (1987). La agresividad ambiental y la durabilidad de las estructuras de hormigón. *Informes de La Construcción*, 38(388), 17–24.
- Rivero, S., Chico, B., Fuente, D. De, Morcillo, M., De La 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.
- Shohet, I. M., Ciabocco, L., & Wasserman, I. R. (2016). Deterioration Patterns of Stone Claddings under Standard Conditions and Marine Environment. *Creative Construction Conference*, 132–137.
- Vicente, R. (2008). Estratégias e metodologias para intervenções de reabilitação urbana. Avaliação da vulnerabilidade e do risco sísmico do edificado da Baixa de Coimbra. Universidad de Aveiro.
- Vicente, Romeu, D’Ayala, D., Ferreira, T. M., Varum, H., Costa, A., da Silva, J. A. R. M., & Lagomarsino, S. (2014). Seismic Vulnerability and Risk Assessment of Historic Masonry Buildings. In *Building Patology and Rehabilitation 2* (pp. 307–348).

#### INSTRUCCIONES Y NORMATIVAS

- Ministerio de Obras Públicas. (1968). Instrucción EH-68.
- Ministerio de Obras Públicas. (1973). Instrucción EH-73.
- Ministerio de Obras Públicas. (1988). Instrucción EH-88.
- Ministerio de Obras Públicas (2008). Instrucción EH-08.
- Ministerio de Fomento (2019). Código Técnico de La Edificación- Documento Básico. Salubridad.

#### PÁGINAS WEB

- [www.puertos.es](http://www.puertos.es)
- [www.aemet.es](http://www.aemet.es)
- [www.climate-data.org](http://www.climate-data.org)

#### OTRAS FUENTES CONSULTADAS

- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones. (2013). *Guías técnicas. Hormigón en ambiente marino.*
- Industriales, A. N. de F. de M. (2008). Morteros Monocapa, revestimientos de fachada (p. 74).
- Documentación aportada en formato de diapositivas en las asignaturas del Grado de OOPP y Máster de ICCP.
  - Patología y Rehabilitación.
  - Mantenimiento y conservación de estructuras.

#### TRABAJOS DE FIN DE GRADO CONSULTADOS

- Sabina Reig, V.R (2016). Diagnóstico y catalogación de las principales deficiencias en la edificación residencial valenciana. ETS Ingeniería de la Edificación. Universidad Politécnica de Valencia.
- Trejo Puchol, M. (2016). Análisis de patologías, propuesta de rehabilitación y estudio de reforma interior de vivienda unifamiliar en calle Esparta, esquina calle Atenas en Jávea. TFG, ETS de Ingeniería de la Edificación, UPV.
- Plaza Toldrá, G. (2014). La Cobatilla: Identificación de lesiones y diagnosis patológica. TFG, ETS de Ingeniería de la Edificación, UPV.
- Salvador Estebe, E. (2015). Estudio de lesiones en fachadas de ladrillo caravista. Análisis de casos en Yecla. TFG, Arquitectura técnica, Universidad de Alicante.
- Díaz González, K. (2019). Construcción de una estructura de hormigón armado e implementación de un sistema para la monitorización de procesos de corrosión. TFG, ETS de Ingeniería de la Edificación, UPV.